

中国电气工程大典编辑委员会



CHINA ELECTRICAL

# 中国电气 工程大典

ENGINEERING CANON

第 14 卷

## 建筑电气工程

主编 洪元颐 张文才 李道本 杨维迅  
王金元 杨德才 陈众励 丁 杰



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)



**组 编** 中国电工技术学会  
中国机械工程学会  
中国电机工程学会  
中国动力工程学会  
中国水力发电工程学会

## 《中国电气工程大典》

- 第1卷 现代电气工程基础
- 第2卷 电力电子技术
- 第3卷 电气工程材料及器件
- 第4卷 火力发电工程(上、下)
- 第5卷 水力发电工程
- 第6卷 核能发电工程
- 第7卷 可再生能源发电工程
- 第8卷 电力系统工程
- 第9卷 电机工程
- 第10卷 输变电工程
- 第11卷 配电工程
- 第12卷 船舶电气工程
- 第13卷 交通电气工程
- 第14卷 建筑电气工程
- 第15卷 电气传动自动化

ISBN 978-7-5083-7424-6



9 787508 374246 >

定价: 220.00元



---

CHINA ELECTRICAL

# 中国电气 工程大典

ENGINEERING CANON

---

中国电气工程大典编辑委员会

第 14 卷

## 建筑电气工程

主编 洪元颐 张文才 李道本 杨维迅  
王金元 杨德才 陈众励 丁 杰



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

中国电气工程大典是由中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电工程学会共同组织全国电气工程各领域的著名专家、教授编纂而成的,是一部全面系统反映电气工程各领域最新成就和技术水平的综合性工具书。中国电气工程大典包括现代电气工程基础、电力电子技术、电气工程材料及器件、火力发电工程、水力发电工程、核能发电工程、可再生能源发电工程、电力系统工程、电机工程、输变电工程、配电工程、船舶电气工程、交通电气工程、建筑电气工程、电气传动自动化 15 卷。

本书为第 14 卷,建筑电气工程卷。主要内容包括概论、建筑电气的规范及标准、建筑物电气装置标准、建筑中压配电系统工程、低压供配电系统、建筑工程常用电器系统、建筑照明、建筑电气消防系统、建筑设备监控系统、安全防范系统与工程、通信网络及信息系统、防雷与接地、建筑物电磁兼容技术。

本书主要供建筑电气工程领域技术人员和管理人员使用,也可供高等学校相关专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

中国电气工程大典. 第 14 卷,建筑电气工程/中国电气工程大典编辑委员会编. —北京:中国电力出版社, 2009  
ISBN 978-7-5083-7424-6

I. 中… II. 中… III. ①电气工程-中国②建筑工程:电气工程-中国 IV. TM TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 088812 号

中国电力出版社出版发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月北京第 1 次印刷

880mm×1230mm 1/16 • 52.625 印张 • 2256 千字 • 1 插页

定价 220.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



# 中国电气工程大典

## 编辑委员会

- 主 任：**陆燕荪 原机械工业部副部长、教授级高级工程师  
中国机械工程学会名誉理事长
- 陆延昌 原电力工业部副部长、教授级高级工程师  
中国电机工程学会理事长
- 执行主任：**周鹤良 原机械工业部电工局局长、教授级高级工程师  
中国电工技术学会名誉理事长
- 宋天虎 原机械工业部科技司司长、教授级高级工程师  
中国机械工程学会常务副理事长
- 副 主 任：**潘崇义 中国电工技术学会副理事长、教授级高级工程师
- 吴玉生 中国电机工程学会秘书长、教授级高级工程师
- 邴凤山 中国水力发电工程学会副理事长、教授级高级工程师
- 严宏强 中国动力工程学会秘书长、教授级高级工程师
- 宗 健 中国电力出版社有限公司董事长、总经理、编审

委 员：（按姓氏笔画排列）

丁 杰	卜广全	于 龙	于坤山	于 明	于新颖	马小亮	马文忠	马伟明	马伟斌
马旭东	马济泉	马晓茜	马隆龙	丰镇平	王之杰	王为民	王正鸣	王占奎	王永骥
王成山	王兆安	王志峰	王作民	王国海	王明渝	王金元	王学伟	王泽忠	王建生
王建华	王绍武	王春华	王厚余	王炳忠	王 勇	王素英	王振铭	王 乘	王维洲
王景芹	王 强	王锡凡	王新新	王黎明	王德宽	王赞基	文习山	文劲宇	方晓燕
方 磊	尹天文	邓长胜	孔 力	孔伯汉	孔昭年	石萍萍	卢 强	卢澎湖	叶奇蓁
田东强	田培斌	史进渊	史毓珍	白少林	白俊光	白晓民	白继彬	冯江华	司马文霞
邢馥吏	戎一农	吕征宇	吕鸿达	朱庆明	朱英浩	朱宝田	朱晓明	朱家驹	朱耀泉
仲明振	任兆宏	任修明	任俊生	危师让	郭 雄	刘大明	刘广峰	刘卫宁	刘友梅
刘公直	刘文华	刘平安	刘 伟	刘仲儒	刘希清	刘 杰	刘尚明	刘国林	刘泽洪
刘建飞	刘建明	刘屏周	刘瑛岩	刘德志	齐剑波	关志成	江秀臣	江哲生	池 涌
汤 涌	汤蕴林	祁恩兰	许江宁	许忠卿	许洪华	阮江军	阮新波	阮 毅	孙才新
孙凤杰	孙成群	孙 林	孙牧海	严宏强	严陆光	严俊杰	严 萍	苏秀革	杜正春
杜毅威	杨玉岗	杨守权	杨寿敏	杨其国	杨奇逊	杨奇娟	杨怡元	杨俊智	杨 耕
杨维迅	杨 雯	杨道刚	杨德才	李 卫	李文健	李永东	李成榕	李 旭	李兴源
李安定	李 农	李若梅	李杰仁	李宝树	李定中	李 奎	李彦明	李晓明	李颂哲
李朗如	李培植	李盛涛	李崇坚	李道本	李道林	李 鹏	李 新	李肇林	李耀星
酃凤山	肖立业	肖昌汉	肖辉乾	肖湘宁	肖耀荣	吴正国	吴创之	吴运东	吴志坚
吴国平	吴质根	吴晓波	吴培豪	邱爱慈	何木云	何阿平	何金良	何梓年	何湘宁
何瑞华	佟为明	余 志	余贻鑫	邹云屏	邹金昌	邹孟奇	应百川	辛德培	辛耀中
汪继强	汪集昶	汪樨生	汪德良	沈小宇	沈 江	沈 兵	沈邱农	沈梁伟	宋文武
宋汉武	宋哲仁	迟 速	张艺滨	张文才	张玉花	张业广	张乔根	张仲超	张兆鹤
张伯明	张冶文	张启平	张 波	张 亮	张洪钟	张祖平	张勇传	张晓江	张晓锋
张 敏	张 望	张景洲	陆永平	陆宠惠	陆俭国	陆剑秋	陆祖良	陆家榆	陆嘉明
陈汉民	陈伟根	陈 仲	陈众励	陈庆国	陈 坚	陈伯时	陈国柱	陈治明	陈建颢
陈 星	陈思铤	陈 勇	陈哲良	陈恩鉴	陈雪梅	陈清泉	陈超志	陈敬超	陈辉明
陈黎平	陈德昌	陈德胜	陈德桂	邵 岚	苟锐锋	林云生	林公舒	林集明	易学勤
罗永浩	罗景华	金如麟	周小谦	周以国	周双喜	周 平	周仲仁	周远翔	周孝信
周建中	周思刚	周家启	周 娟	周锡生	郑小康	郑云之	郑永红	郑克文	郑明光
宗建华	宓传龙	孟庆东	赵玉文	赵光宙	赵 伟	赵红一	赵昌宗	赵治华	赵宗让
赵荣祥	赵相宾	赵 洁	赵 敏	赵婉君	赵 琨	赵 毅	赵黛青	荣命哲	胡方荪



胡安	胡学浩	胡振岭	胡鉴清	段善旭	段献忠	侯子良	俞忠德	俞智斌	饶芳权
施围	施鹏飞	洪元颐	姚本荣	姚尔昶	姚家祎	姚福生	贺建华	贺益康	贺湘琨
贺德馨	骆仲决	秦和	秦裕碧	袁余军	袁建生	袁建敏	都兴有	耿英三	莫会成
贾东旭	夏立	夏祥贵	顾四行	顾国彪	钱昌燕	钱宝良	钱照明	倪维斗	徐元辉
徐凤刚	徐永法	徐兆丰	徐国政	徐洪海	徐殿国	徐铎	徐德鸿	殷禄祺	奚大华
高子瑜	高文胜	高庆国	高京生	高理迎	高培庆	郭天兴	郭国顺	郭保良	郭洁
郭振岩	郭灏	唐任远	唐炬	唐春潮	陶星明	黄少锋	黄仁乐	黄妙庆	黄其励
黄国治	黄学清	黄宝生	黄晓丽	黄崇祺	黄景湖	梅生伟	曹一家	曹惠彬	戚庆成
崔志强	崔翔	康勇	章名耀	章定邦	梁维宏	梁维燕	梁曦东	彭宗仁	葛大麟
葛少云	葛诗慧	葛蓉生	葛溪亭	葛增茂	董卫国	蒋洪德	蒋善定	韩民晓	韩英铎
惠世恩	覃大清	程天麟	程均培	程时杰	程树康	程浩忠	傅书遏	焦侬	焦树建
舒惠芬	曾文星	曾正中	曾明富	曾南超	曾雁鸿	曾嵘	游亚戈	谢开贵	谢秋野
雷银照	雷清泉	满慧文	蔡崇积	管瑞良	廖胜松	廖瑞金	缪鸿兴	黎晓晖	颜渝坪
薛以太	戴先中	戴庆忠	戴慧珠	魏光辉					

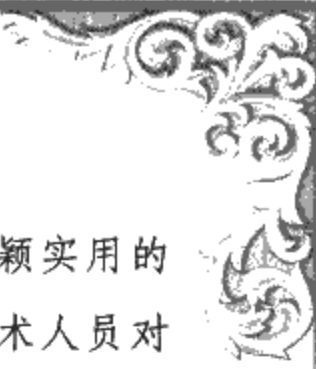
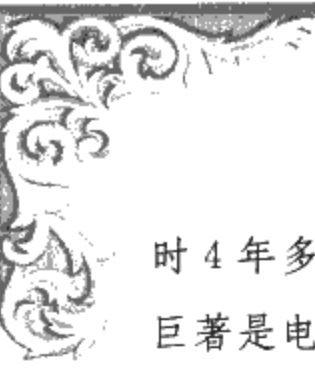
# 序

电气工程包括发电工程、输配电工程和用电工程,是为国民经济发展提供电力能源及其装备的战略性产业,是国家工业化和国防现代化的重要技术支撑,是国家在世界经济发展中保持自主地位的关键产业之一。电气工程的产业关联度高,对从原材料工业、机械制造业、装备工业以及电子、信息等一列产业的发展均具有推动和带动作用,对提高整个国民经济效益,促进经济社会可持续发展,提高人民生活质量有显著影响。

经过改革开放 30 年来的发展,我国电气工程已经形成了较完整的科研、设计、制造、建设、运行体系,成为世界电力工业大国之一。至 2007 年底,我国发电装机容量达 7.13 亿 kW,三峡水电及输变电工程、百万千瓦级超超临界火电工程、百万千瓦级核电工程,以及正在建设的交流 1000kV、直流 ±800kV 特高压输变电工程等举世瞩目;大电网安全稳定控制技术、新型输电技术的推广,大容量电力电子技术的研究和应用,风力发电、太阳能光伏发电等可再生能源发电技术的产业化及规模化应用,超电工技术、脉冲功率技术、各类电工新材料的探索与应用取得重要进展。特别是进入 21 世纪以来,电气工程领域全面贯彻科学发展观,新原理、新技术、新产品、新工艺获得广泛应用,拥有了一批具有自主知识产权的科技成果和产品,自主创新已成为行业的主旋律。我们的电气工程技术和产品,在满足国内市场需求的基础上已经开始走向世界。

电气工程技术的快速发展和巨大成就,要求对原有知识的不断更新,广大电气工程领域的工作者们对新的知识愈加渴求。在原机械工业部陆燕荪、电力工业部陆延昌两位老部长的倡议和领导下,由中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电工程学会五个全国性学会,联合组织了电气工程各领域近 2000 位专家和学者,历







时4年多，编撰的《中国电气工程大典》现在出版了。这套内容新颖实用的巨著是电气工程领域一项重要的基础性工作，也是我国电气工程技术人员对社会的一项公益性奉献。这部鸿篇巨著不仅具有电气工程技术的知识魅力，同时也具有鲜明的时代特色，相信会为广大读者营造一个开卷有益的氛围。

电能作为目前使用最方便的二次能源，在推动社会进步、促进科学技术发展和提高人民生活质量方面发挥着越来越重要的作用。随着社会的不断进步和人民生活水平的不断提高，电气工程任重而道远，需要依靠科技进步，并用更新的科学知识武装每一位电气工作者，所以，希望这套著作能对电气工程的教学、科研、设计和管理人员有所裨益。

徐匡迪

二〇〇八年八月十二日



# 前言

电的产生和应用是人类有史以来最伟大的科学技术成就之一。电力作为目前最清洁和使用最方便的二次能源，在推动社会发展、促进科学技术进步和提高人民生活质量方面发挥着越来越重要的作用。一个多世纪以来，电气技术的不断发展，电力生产及应用的日益增长，迅速改变了人类社会的面貌，也深深影响着人们的生活方式。电气化的程度已成为国家文明程度的重要标志之一。

改革开放 30 年来，我国科学技术取得了突飞猛进的发展，科技创新已成为国家发展的重要战略。在电气工程领域，新原理、新技术、新工艺、新材料得到了广泛应用，涌现出一大批具有自主知识产权的科研成果和产品。三峡电站的建设，大容量高效清洁超临界和超超临界压力机组的迅速发展，特高压交直流输电技术和灵活交流输电技术的发展和运用，先进的核能发电厂及可再生能源发电厂的成功建造，大电网智能化动态稳定监控系统与信息管理系统的应用，具有先进水平的电气装备制造业的高速发展，大容量电能变换与节能节电技术，风力发电、太阳能光伏发电等资源节约、环境友好的新技术的大量应用，计算机和信息网络技术在电气领域的普及，明显改变着电气工程领域技术发展状况。超导电工技术、脉冲功率技术，纳米材料、永磁材料、有机硅材料等各类电工新技术和新材料的探索与应用，都充分展示了中国电气工程领域所取得的骄人业绩，引起了世界的高度关注。其中许多科研成果和产品，已达到国际先进水平。

电气工程从业人员多，涉及面广，技术进步快，科研成果多，许多科研成果需要总结和积累，许多新的知识需要普及和传播。盛世修典，素有遗风。为反映电气工程领域最新的发展成就，总结已有的科研成果，传播工程领域最新的科学技术知识，中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电工程学会五个学会，联合组织了电气工程各领域的约 2000 位专家和学者，编撰了《中国电气工程大典》。



本套书的编写工作于 2004 年开始启动，编委会多次召开工作会议，精心组织，按照“取材突出新原理、新技术、新工艺、新材料；内容体现新颖性、先进性、实用性；表达力求简明扼要、深入浅出、直观易懂”的原则，反复讨论并修改编写大纲，确定编写内容。经过 4 年磨砺，数易其稿，终于付梓出版。《中国电气工程大典》共 15 卷约 5000 万字，包括《现代电气工程基础》、《电力电子技术》、《电气工程材料及器件》、《火力发电工程》、《水力发电工程》、《核能发电工程》、《可再生能源发电工程》、《电力系统工程》、《电机工程》、《输变电工程》、《配电工程》、《船舶电气工程》、《交通电气工程》、《建筑电气工程》和《电气传动自动化》。

所有组织者和编著者都把编撰本套书当作电气工程领域建设的一项重要的基础性工作，他们认真负责，辛勤耕耘，倾注了大量心血。本套书在编写出版过程中，得到参与编写的各科研院所、企业、高等院校等单位的大力支持，还得到业内有关院士和专家、学者的热心帮助。正是大家的积极参与和无私奉献，才使得这部大典能顺利编写出版，编委会对他们的奉献和支持表示衷心感谢。

这部鸿篇巨著，涉及电气工程设计制造、建设施工、生产运行、科研教学、工程管理等领域，总结了改革开放 30 年来电气工程各领域的技术发展与成功经验，展示了各专业领域的最新技术数据、设计经验、科技成果和发展动态，汇集了国内外相关的先进理念和成熟经验，体现了科学性、先进性和实用性的结合，是一套可供电气工程领域专业技术人员和管理人员使用的综合性工具书，也可供高等院校相关专业师生参考。

《中国电气工程大典》的编撰出版工作涉及面广，参与人员多，写作难度大。尽管编撰人员尽心尽力，倾注了无数心血，但书中难免存在缺点和不足之处，恳请读者指正。

中国电气工程大典编辑委员会主任

陆燕荪 陆延昌

## 本 卷 前 言

在中国电气工程大典中增加建筑电气这一卷,是我国电气界的一件大事,更是“建筑电气”同仁的一件大事。在此以前“建筑电气”作为电气技术的一个部分,早已被广大同仁认可。但如何去定义它?它所包涵的范畴是哪些?它的双向界面在哪里?业界没有一个明确解释。这里所说的“双向界面”其一是与外界的“网络”(电力网络、信息及智能化网络)界面如何划分?其二是与“家用电器”的界面如何划分?家用电器是使用者亲自操作的器件,大者有洗衣机、电冰箱;小者到剃须刀等。本卷的第一篇就以上问题作了一个初步的阐述,更希望得到同仁的思考。

本卷书是在我国建筑电气界的著名学者和卓有成绩的科技工作者的共同努力下完成的。全卷共分13篇,从概论、建筑电气得规范及标准、建筑物电气装置标准、建筑中压配电系统工程、低压供配电系统、建筑工程常用电器系统、建筑照明、建筑电气消防系统、建筑设备监控系统、安全防范系统与工程、通信网络及信息系统、防雷与接地、建筑物电磁兼容技术等方面对建筑电气进行全面系统的阐述。由于篇幅有限,而“建筑电气”所包含的范围又那么广,各章节都有许多未尽之处,请予谅解。随着时代的发展,本卷中的许多“标准”、“规范”、“应用实例”也有赶不上形势的现象,我们只能以2007年开始编写的日子为界线,而未来只有在时代列车的牵引下,待来者不断发展和完善。

本卷书近300万字,是以中国建筑学会建筑电气分会的第七届理事会部分领导成员张文才、王金元、杨维迅、陈建飏、陈众励、杨德才、陈汉民,并邀请了我国各方面的老专家:王厚余、贺湘琨、刘希清、詹庆旋、刘屏周、王素英、李道本、姚家祎、黄妙庆、杨守权、张艺滨等;及诸多方面的专家领衔编纂而成的,他们有孙成群、王勇、张野、孙牧海、张涓笑、高小平、龚增、黄春、刘侃、戎一农、施巨岭、张跃、方磊、陈慈宣、孙兰、张昕、叶明、姚梦明等;北京市建筑设计研究院总建筑师刘晓钟为本书编写第一篇的建筑部分;此外许多同仁帮助做了很多校阅工作,他们有杜毅威、葛大麟、石萍萍、李宏毅等;这项巨大的工程是大家辛劳地一砖一瓦堆砌起来的。在此我向七十余名作者及方方面面给予我们支持的同仁致以深深的感谢。

洪元颐

## 目 录

序		
前言		
本卷前言		
<b>第1篇 概论</b>	1	
<b>第1章 建筑工程概述</b>	3	
1 建筑的基本概念	3	
1.1 建筑相关的几个基本概念	3	
1.2 建筑是空间和造型的艺术	3	
2 建筑的本质与特征——建筑是技术与艺术的综合	3	
2.1 建筑的基本功能	3	
2.2 建筑与技术	3	
2.3 建筑与艺术	4	
2.4 建筑是技术与艺术的综合	4	
3 建筑的发展趋势——中国建筑的全球化	4	
3.1 通过中国建筑看当代建筑发展	4	
3.2 国际式的由来,再到全球化	4	
3.3 全球化在当代中国的普遍影响与现实意义	5	
3.4 全球化走向“批判性地域主义”	5	
4 建筑的分类与分级	6	
4.1 按建筑物的用途分类	6	
4.2 按建筑物的层数或高度分类	6	
4.3 按主要承重结构所用材料分类	6	
5 主要民用建筑类型	6	
5.1 居住建筑	6	
5.2 办公建筑	7	
5.3 文教建筑	7	
5.4 体育建筑	8	
5.5 商业建筑	8	
5.6 医疗建筑	9	
5.7 博览建筑	9	
5.8 观演建筑	9	
<b>第2章 建筑电气概论</b>	10	
1 建筑电气的概念	10	
1.1 建筑电气的定义	10	
1.2 建筑电气的重要特征	10	
2 建筑电气最新发展综述	11	
2.1 建筑工程中压配电系统	11	
2.2 建筑低压配电系统	11	
2.3 建筑电气照明系统	13	
2.4 建筑设备监控系统	14	
2.5 建筑消防系统	15	
2.6 智能化系统集成技术	15	
3 智能建筑发展	17	
<b>第2篇 建筑电气的规范及标准</b>	19	
1 法规	21	
2 工程建设标准化体系简介	21	
2.1 标准的定义及其表达方式	21	
2.2 标准的分级	21	
2.3 标准的分类	21	
2.4 标准的编号	21	
2.5 选用标准、规范(程)时应注意的问题	22	
3 IEC 国际标准	22	
4 建筑电气工程建设标准体系	22	
4.1 基础标准	22	
4.2 通用标准	22	
4.3 专用标准	22	
4.4 建筑电气工程建设标准体系表	22	
5 常用国际标准和国外标准代号	25	
6 标准设计	26	
6.1 标准图集的作用	26	
6.2 标准设计的分级	26	
6.3 电气国家标准图集目录	26	
6.4 弱电国家标准图集目录	26	
<b>第3篇 建筑物电气装置标准</b>	29	
<b>第1章 建筑物电气装置的国际标准</b>	31	
1 建筑物电气装置的国际标准	31	
1.1 国际电工委员会(IEC)介绍	31	
1.2 IEC TC64 的组成和制定的标准	34	
1.3 中国的标准化管理	37	
1.4 低压电气装置常用术语和定义	41	
<b>第2章 电流通过人体的效应</b>	44	
1 人体的电阻抗	44	
1.1 人体内阻抗( $Z_i$ )	44	
1.2 皮肤阻抗( $Z_p$ )	45	
1.3 人体初始电阻( $R_0$ )	45	
1.4 人体总阻抗值( $Z_T$ )	45	
2 15~100Hz 范围内正弦交流电流的效应	45	
2.1 感知阈和反应阈	45	
2.2 摆脱阈	45	
2.3 心室纤维性颤动阈	45	
2.4 电流的其他效应	45	
2.5 时间/电流区域的说明	46	
2.6 心脏电流系数 $F$ 的应用	46	
3 直流电流效应	46	
3.1 感知阈和反应阈	46	
3.2 摆脱阈	46	
3.3 心室纤维性颤动阈	46	
3.4 其他电流效应	47	
3.5 时间/电流区域说明	47	
4 频率 100Hz 以上的交流电流的效应	47	
4.1 频率范围在 100~1000Hz (含) 的交流电流的效应	47	
4.2 频率范围在 1000~10 000Hz (含) 的交流电流的效应	48	
4.3 频率范围在 10 000Hz 以上的交流电流的效应	48	
5 特殊波形电流的效应	48	

5.1 具有直流分量的正弦交流电流的效应	48	1.2 间接接触电击防护	63
5.2 具有相位控制的交流电流的效应	49	2 热效应防护	73
5.3 具有多周波控制的交流电流的效应	49	2.1 电气火灾防护	73
6 短时间单向单脉冲电流的效应	50	2.2 人体灼伤防护	74
7 特低电压 (ELV) 限值	51	2.3 过热防护	74
7.1 概述	51	3 过电流防护	74
7.2 影响电压限值的因素	51	3.1 过电流及过电流防护电器	74
7.3 环境状况	51	3.2 中性线的过电流防护	75
7.4 电压限值	51	3.3 过载防护	75
<b>第3章 低压电气装置基本原则</b>	<b>54</b>	3.4 短路防护	79
1 范围	54	4 过电压防护	81
1.1 适用低压电气装置的建筑物和类似设施范围	54	4.1 工频暂时过电压	81
1.2 适用的低压电气装置类型	54	4.2 雷电瞬态过电压	84
1.3 低压电气装置不适用的范围	54	5 信息技术 (IT) 设备的抗电磁干扰	85
1.4 低压电气装置未考虑用于的领域	54	5.1 IT 设备的抗电磁干扰措施	85
1.5 电气设备的适用范围	54	5.2 IT 设备的接地和等电位联结	86
2 低压电气装置的基本原则	54	5.3 IT 设备接地方式推荐的三种范例	87
2.1 电击防护	54	5.4 IT 系统中电能净化设备的应用	87
2.2 热效应保护	54	<b>第5章 电气设备的选择和安装</b>	<b>89</b>
2.3 过电流保护	55	1 通用规则	89
2.4 故障电流保护	55	1.1 工作条件	89
2.5 防电压骚扰和防电磁干扰措施	55	1.2 外部影响	89
2.6 防电源中断	55	1.3 可接近	92
3 设计	55	1.4 识别	92
3.1 概述	55	1.5 预防相互间的不利影响	92
3.2 电源特性	55	1.6 保护导体电流	92
3.3 用电负荷的性质	55	2 电气线路	92
3.4 应急电源和备用电源	55	2.1 电气线路的型式	92
3.5 环境条件	55	2.2 按外界环境影响条件选择电气线路	93
3.6 导体的截面	55	2.3 载流量	94
3.7 布线方式和安装方法	55	2.4 导体的截面	95
3.8 防护用设备	55	2.5 谐波电流	95
3.9 应急控制	55	2.6 在用户电气装置中的电压降	95
3.10 隔离器件	56	2.7 电气连接	96
3.11 相互影响的防止	56	2.8 电气线路的选择和安装的要求	96
3.12 电气设备的易接近性	56	2.9 电气线路靠近其他设施	96
3.13 低压电气装置的文件	56	3 保护、隔离、通断、控制和检测电器	97
4 电气设备的选择	56	3.1 总则	97
4.1 概述	56	3.2 接地故障自动切断电源电器	97
4.2 特性	56	3.3 过电流保护电器	100
4.3 安装条件	56	3.4 过电压保护电器	100
4.4 防止有害影响	56	3.5 欠电压保护电器	104
5 低压电气装置的安装和校验	56	3.6 保护电器的配合	104
5.1 安装	56	3.7 隔离和通断	104
5.2 初验	56	3.8 检测电器	106
5.3 定期校验	56	4 接地装置、保护导体和等电位联结导体	107
6 建筑物电气装置的一般特性评估	56	4.1 接地装置	107
6.1 目的、电源和结构	56	4.2 保护导体	109
6.2 兼容性	61	4.3 保护等电位联结导体 (保护联结导体)	112
6.3 可维护性	61	5 低压发电设备	112
6.4 安全设施	61	5.1 总则	112
6.5 供电连续性	61	5.2 接地故障保护	112
<b>第4章 建筑物电气装置的安全保护</b>	<b>62</b>	5.3 过电流保护	113
1 电击防护	62	5.4 发电设备作为公用电网替代电源 (备用系统)	113
1.1 直接接触电击防护	62	5.5 发电设备可能与公用电网并列运行	113

6 安全设施 .....	114	压器的阻抗 .....	142
6.1 内容概述 .....	114	5.3 低压配电线路的阻抗 .....	143
6.2 总则 .....	114	6 低压网络短路电流的计算 .....	146
6.3 安全设施的电源 .....	114	6.1 计算条件 .....	146
6.4 安全设施的回路 .....	114	6.2 三相和两相不接地短路电流的计算 .....	146
6.5 电气线路 .....	114	6.3 单相短路(包括单相接地故障) 电流的计算 .....	146
6.6 应急照明 .....	114	6.4 10(6)/0.4kV 电力变压器低压 侧短路电流值 .....	146
6.7 防火 .....	115	第4章 继电保护 .....	151
6.8 保护措施、设备和线路的选择,发电机以及接 地等方面的基本要求 .....	115	1 一般要求 .....	151
第4篇 建筑中压配电系统工程 .....	117	2 数字式(微机)继电保护装置的特点 .....	152
第1章 概述 .....	119	3 电力变压器的保护 .....	152
第2章 建筑工程中压配电系统的构成 .....	120	3.1 设计规范对保护配置要求 .....	152
1 常用的典型中压配电系统主接线 .....	120	3.2 保护配置 .....	153
1.1 35kV 配电系统主接线 .....	120	3.3 整定计算 .....	153
1.2 10kV 配电系统主接线 .....	122	3.4 变压器纵差保护的特点 .....	155
2 典型中压配电系统主接线的评价 .....	126	3.5 变压器差动保护的性能特征 .....	155
2.1 常用变配电主接线的可靠性评估 .....	126	3.6 整定计算 .....	155
2.2 常用变配电主接线的适用范围 .....	127	3.7 主变压器保护测控装置 .....	155
第3章 短路电流计算 .....	128	3.8 3~10kV 配电变压器保护测控装置 .....	156
1 短路电流计算的一般情况 .....	128	3.9 保护整定方式 .....	156
1.1 短路电流计算方法 .....	128	4 3~63kV 线路的保护 .....	160
1.2 短路电流计算的基本概念 .....	128	4.1 设计规范对保护配置要求 .....	160
1.3 短路电流计算的主要目的 .....	128	4.2 保护配置 .....	160
1.4 短路电流计算条件 .....	129	4.3 整定计算 .....	160
1.5 影响短路电流的因素 .....	129	4.4 3~63kV 线路保护测控装置 .....	162
1.6 限制短路电流的措施 .....	129	4.5 线路光纤电流纵差保护测控装置 .....	164
2 电路元件参数的换算及网络变换 .....	129	5 6~10kV 母线分段断路器的保护 .....	164
2.1 标幺值 .....	129	5.1 保护装置 .....	164
2.2 有名单位制 .....	129	5.2 整定计算 .....	164
2.3 网络变换 .....	130	5.3 备用电源自动投入 .....	166
3 高压网络电路元件的阻抗的计算 .....	131	5.4 分段断路器备用电源自投保护测控装置 .....	166
3.1 同步电机 .....	131	6 电力电容器的保护 .....	167
3.2 异步电动机 .....	131	6.1 设计规范对保护配置要求 .....	167
3.3 电力变压器 .....	131	6.2 保护配置 .....	168
3.4 电抗器 .....	132	6.3 整定计算 .....	168
3.5 高压线路 .....	132	6.4 电容器保护测控装置 .....	170
4 高压网络的短路电流计算 .....	135	7 3~10 kV 电动机的保护 .....	172
4.1 计算条件 .....	135	7.1 设计规范对保护装置的配置要求 .....	172
4.2 远离发电机端的三相短路电流周期 分量的计算 .....	135	7.2 保护配置 .....	173
4.3 靠近发电机端的三相短路电流周期 分量的计算 .....	135	7.3 整定计算 .....	173
4.4 短路点由多个电源供电的三相短路电流周 期分量的计算 .....	139	7.4 电动机差动保护及其他保护整定计算 .....	174
4.5 三相短路冲击电流的计算和全电流最大有 效值的计算 .....	140	7.5 同步电动机失步保护 .....	175
4.6 电动机对短路电流的影响 .....	140	7.6 低电压保护 .....	176
4.7 两相不接地短路电流的计算 .....	140	7.7 同步电动机的单相接地电容电流 .....	176
4.8 单相接地电容电流的计算 .....	141	7.8 电动机保护测控装置 .....	176
4.9 变压器低压侧短路时折算到高压侧穿越 电流的换算关系 .....	141	8 微机保护装置的电磁兼容 .....	181
5 低压网络电路元件阻抗的计算 .....	141	9 保护用电流互感器 .....	184
5.1 高压侧系统阻抗 .....	142	9.1 性能要求 .....	184
5.2 10(6)kV/0.4kV 三相双绕组配电变 压器的阻抗 .....	142	9.2 类型选择 .....	184
		9.3 额定参数选择 .....	184
		9.4 准确级及误差限值 .....	184
		9.5 稳态性能验算 .....	185
		9.6 二次负荷计算 .....	185
		10 交流操作的继电保护 .....	186

10.1 交流操作电源	186	2.1 非有效接地系统或小电流接地系统	221
10.2 交流操作数字继电保护	187	2.2 有效接地系统或大电流接地系统	222
<b>第5章 中压配电系统自动化</b>	188	3 各种接地方式的比较与适用范围	222
1 配电自动化系统定义	188	3.1 非有效接地系统或小电流接地系统	222
1.1 配电自动化系统	188	3.2 有效接地系统或大电流接地系统	223
1.2 配电主站	188	3.3 中性点接地方式的适用范围	223
1.3 配电子站	188	4 各种接地方式的比较	223
1.4 配电远方终端	188	4.1 电气设备和线路的绝缘水平	223
2 配电主站的功能	188	4.2 对于供电的可靠性分析	224
2.1 配电主站的实时功能	188	4.3 对继电保护的灵敏度问题	224
2.2 配电主站的管理功能	188	4.4 对通信信号系统的干扰	224
3 配电子站的功能	189	5 中性点接地方式的选择	224
3.1 数据采集	189	5.1 选择确定中性点接地方式应考虑的因素	224
3.2 控制功能	189	5.2 系统接地要求	224
3.3 数据传输	189	<b>第8章 常用高压电器和开关柜</b>	225
3.4 维护功能	189	1 高压电器和开关柜的选择	225
3.5 故障处理	189	1.1 选择的一般原则	225
3.6 通信监视	189	1.2 按技术条件选择	225
3.7 其他功能	189	1.3 按环境条件选择	227
4 配电远方终端的功能	189	1.4 按环境保护要求选择	228
4.1 数据采集	189	2 高压开关柜的组成与分类	228
4.2 控制功能	189	2.1 基本组成与功能	228
4.3 数据传输	189	2.2 高压开关柜的分类	228
4.4 维护功能	189	2.3 高压开关柜的结构型式与特点	229
4.5 其他功能	189	3 高压开关柜的技术条件	229
5 配电自动化系统通信配置	189	3.1 一般技术要求	229
5.1 通信介质	189	3.2 设计与结构	230
5.2 通信协议	189	3.3 型式试验	231
5.3 通信接口	189	3.4 出厂试验	231
6 配电自动化系统的主要技术指标	189	4 高压开关柜的技术性能与产品选型	232
7 配电自动化系统组成结构	190	4.1 技术性能	232
7.1 配电自动化的基本特征	190	4.2 产品选用要点	232
7.2 建筑设备监控系统(BAS)中的配电 自动化系统的组成结构	190	4.3 高压开关柜及配套产品生产、 检测的相关标准	232
7.3 中压成套柜设数字式多功能继电器、数字式 保护装置的配电自动化系统组成结构	191	4.4 常用高压开关柜的型号及规格	232
7.4 集中式配电自动化系统	198	5 高压开关柜订货和投标应提供的资料	239
7.5 分层分布式结构集中式组屏的配电 自动化系统	200	5.1 订货应提供的资料	239
7.6 分散分布与集中相结合的配电自动化系统	200	5.2 投标应提供的资料	239
7.7 分散分布式配电自动化系统	201	<b>第9章 操作电源</b>	240
<b>第6章 中压配电系统的所用电源及操作电源</b>	203	1 直流电源柜	240
1 所用电源	203	1.1 电力工程直流电源柜技术条件	240
1.1 所用电源的设置	203	1.2 阀控式密封铅酸蓄电池技术条件	244
1.2 所用电源的接线	203	1.3 蓄电池用整流逆变设备技术条件	245
1.3 所用变压器的选择	203	1.4 电力用高频开关整流模块技术条件	247
1.4 所用变压器容量计算	203	1.5 电力用直流电源监控装置技术条件	248
2 操作电源系统	204	1.6 GZD、GZDW 系列直流电源柜型号 及规格	251
2.1 概述	204	2 UPS 电源	254
2.2 操作电源的基本要求	204	2.1 UPS 电源构成	254
2.3 操作电源系统分类及选择原则	204	2.2 UPS 电源用途	254
2.4 直流操作电源系统	204	2.3 对 UPS 电源装置的基本要求	254
2.5 交流操作电源	218	2.4 UPS 电源的分类	255
<b>第7章 电力系统中性点接地</b>	221	2.5 不同结构形式 UPS 电源的主要性能比较	255
1 简介	221	2.6 UPS 电源接线方案	255
2 电力系统中性点接地方式分类	221	2.7 UPS 电源选用	256
		<b>第10章 箱式变电站</b>	258



1 箱式变电站的组成与使用条件 .....	258	1.2 电缆芯数选择 .....	283
1.1 组成与功能 .....	258	1.3 电力、电缆绝缘水平选择 .....	283
1.2 适用场所与使用条件 .....	258	1.4 绝缘材料及护套选择 .....	284
1.3 设计与选型引用的主要标准 .....	258	2 电线、电缆截面选择 .....	286
2 箱式变电站的类型与特性 .....	258	2.1 电线、电缆截面选择的条件 .....	286
2.1 箱式变电站的分类 .....	258	2.2 按温升选择截面 .....	286
2.2 组合箱式变电站 .....	258	2.3 按经济电流选择截面 .....	286
2.3 预装箱式变电站 .....	260	2.4 按电压损失校验截面 .....	286
<b>第5篇 低压供配电系统</b> .....	265	2.5 按机械强度校验截面 .....	286
<b>第1章 概述</b> .....	267	2.6 中性线(N)、保护接地线(PE)、 保护接地中性线(PEN)的截面选择 .....	286
<b>第2章 负荷分级</b> .....	268	3 电线、电缆载流量 .....	287
1 规范对负荷分级的原则规定 .....	268	4 按经济电流选择电缆截面 .....	287
1.1 一级负荷 .....	268	<b>第8章 开关电器和保护电器的选用</b> .....	288
1.2 二级负荷 .....	268	1 低压电器选择的一般要求 .....	288
1.3 三级负荷 .....	268	1.1 按正常工作条件选择 .....	288
2 部分行业的负荷分级 .....	268	1.2 按短路工作条件选择 .....	288
<b>第3章 低压供配电系统</b> .....	270	1.3 按使用环境条件选择 .....	288
1 电力供配电系统 .....	270	2 开关、隔离电器和接触器的选用 .....	288
1.1 基本原则 .....	270	2.1 隔离电器的选用原则 .....	288
1.2 常用低压电力配电系统 .....	270	2.2 开关电器的选用原则 .....	288
2 照明配电系统 .....	271	2.3 接触器和起动机选用原则 .....	288
2.1 基本原则 .....	271	2.4 热继电器的选择 .....	289
2.2 电压选择 .....	271	3 保护电器的选用 .....	289
2.3 常用照明配电系统 .....	271	3.1 低压熔断器 .....	289
<b>第4章 应急电源及其供配电系统</b> .....	274	3.2 低压断路器 .....	290
1 应急电源种类 .....	274	3.3 交流低压短路保护设备选型 .....	291
2 应急电源系统 .....	274	4 各级保护电器间的选择性配合 .....	300
3 备用或应急电源的组成 .....	274	5 各种低压电器的安装位置要求 .....	301
3.1 柴油发电机组 .....	274	6 ATSE的选用 .....	301
3.2 UPS不间断电源 .....	275	6.1 一般规定 .....	301
3.3 EPS应急电源 .....	276	6.2 PC级ATSE的选用 .....	302
<b>第5章 民用建筑供配电系统</b> .....	278	6.3 CB级ATSE的选用 .....	302
1 高层建筑供配电系统 .....	278	<b>第9章 特低电压配电</b> .....	303
1.1 高压供电系统 .....	278	1 SELV(Self-sufficient ELV) .....	303
1.2 低压配电系统 .....	278	1.1 SELV的电源要求 .....	303
2 体育建筑供配电系统 .....	278	1.2 SELV回路的配置 .....	303
2.1 体育建筑的负荷分级 .....	278	1.3 SELV回路的要求 .....	303
2.2 体育建筑的供配电 .....	278	2 PELV(Protective ELV) .....	303
3 影剧院供配电系统 .....	279	3 FELV(Functional ELV) .....	303
3.1 概述 .....	279	3.1 FELV一般要求 .....	303
3.2 剧场用电负荷分级及供电系统 .....	279	3.2 直接接触防护 .....	304
3.3 低压配电系统 .....	279	<b>第10章 电气设备布置</b> .....	305
4 医疗建筑供配电系统 .....	279	1 正常环境的配电设备布置要求 .....	305
4.1 概述 .....	279	2 爆炸及火灾危险环境的配电设备布置要求 .....	305
4.2 供电系统 .....	279	3 腐蚀性环境的配电设备布置要求 .....	305
4.3 低压配电系统 .....	280	4 洁净环境的配电设备布置要求 .....	305
4.4 接地系统 .....	280	5 高频环境的配电设备布置要求 .....	305
5 商、住楼供配电系统 .....	280	6 高温环境的配电设备布置要求 .....	305
<b>第6章 供、配电设计的原始资料</b> .....	282	<b>第11章 电能质量</b> .....	306
1 需向供电部门提供的资料 .....	282	1 概述 .....	306
2 需向供电部门索取的资料 .....	282	2 电压偏差 .....	306
3 需向建设单位了解的内容和索取的资料 .....	282	3 电压波动与闪变 .....	306
<b>第7章 导体选择</b> .....	283	4 大功率设备启动时的电压降及其供电 电源容量的确定 .....	307
1 电线、电缆类型的选择 .....	283	5 谐波 .....	307
1.1 导体材料选择 .....	283		

6 不平衡度 .....	309
<b>第 12 章 电动机的起动、控制、保护</b> .....	311
1 电动机起动方式的选择原则 .....	311
2 电动机起动设备的选择及要求 .....	311
<b>第 13 章 电动机起动设备特性及应用</b> .....	312
1 直流电动机的起动 .....	312
1.1 直接起动 .....	312
1.2 降压起动 .....	312
1.3 电枢回路串电阻起动 .....	312
2 交流电动机的起动 .....	312
2.1 笼型异步电动机的直接起动 .....	313
2.2 笼型异步电动机的降压起动 .....	313
2.3 绕线转子三相异步电动机的起动 .....	315
3 变频调速起动 .....	316
3.1 变频调速原理 .....	316
3.2 变频调速起动 .....	317
3.3 变频调速的应用 .....	317
3.4 变频器的选择 .....	318
<b>第 14 章 电击防护</b> .....	319
1 直接接触和间接接触两者兼有的防护 .....	319
1.1 不接地回路 (SELV) 和接地回路 (PELV) .....	319
1.2 回路的配置 .....	319
1.3 对 SELV 不接地回路的要求 .....	319
1.4 对 PELV (接地回路) 的要求 .....	319
1.5 FELV 系统 .....	319
2 直接接触电击防护 .....	320
3 间接接触电击防护 .....	320
4 II 类设备或等效的绝缘 .....	321
5 非导电场所 .....	322
6 不接地的局部等电位联结的防护 .....	322
7 电气隔离 .....	322
<b>第 6 篇 建筑工程常用电器系统</b> .....	325
<b>第 1 章 常用电线电缆</b> .....	327
1 分类及型号 .....	327
1.1 型号标记 .....	327
1.2 塑料绝缘电缆 .....	327
1.3 橡皮绝缘电力电缆 .....	328
1.4 阻燃、耐火电线电缆 .....	328
1.5 母线槽 .....	328
2 设计选择 .....	329
2.1 型式的选择 .....	329
2.2 截面选择 .....	331
2.3 母线槽设计选择 .....	332
3 敷设及安装 .....	332
3.1 电线敷设 .....	332
3.2 电缆敷设 .....	334
3.3 竖井内线缆敷设 .....	337
<b>第 2 章 建筑工程空调系统</b> .....	339
1 空调系统设备 .....	339
1.1 空调系统的分类 .....	339
1.2 空调系统的组成 .....	340
2 空调系统控制装置 .....	341
2.1 检测变送装置 .....	341
2.2 控制调节装置 .....	346

2.3 执行调节装置 .....	347
<b>3 空调系统自动控制</b> .....	348
3.1 制冷站自动控制 .....	348
3.2 热源系统控制 .....	351
3.3 新风机组自动控制 .....	352
3.4 空调机组自动控制 .....	353
3.5 风机盘管自动控制 .....	354
3.6 通风机自动控制 .....	354
<b>4 空调系统配电</b> .....	354
4.1 一般要求 .....	354
4.2 设备的起动 .....	355
4.3 设备的保护 .....	355
<b>第 3 章 建筑工程运输系统</b> .....	356
1 建筑运输的种类及分类 .....	356
1.1 电梯的分类 .....	356
1.2 自动扶梯的分类 .....	357
1.3 自动人行道分类 .....	358
1.4 电梯、自动扶梯的参数 .....	358
2 电梯、自动扶梯的配电 .....	359
2.1 电梯、自动扶梯的配电要求及负荷等级 .....	359
2.2 电梯、自动扶梯的控制及联动要求 .....	359
2.3 电梯井道照明的要求 .....	359
2.4 电梯、自动扶梯其他的要求 .....	359
2.5 电梯用电容量的计算 .....	360
2.6 电梯计算电流的计算 .....	360
2.7 电梯、自动扶梯尖峰电流的计算 .....	360
3 电梯、自动扶梯的电气控制 .....	360
3.1 单台电梯的电气控制组成 .....	360
3.2 两台电梯的并联控制功能 .....	365
3.3 群控电梯的控制功能 .....	366
4 电梯、自动扶梯的安装、调试和验收 .....	367
4.1 电梯的安装 .....	367
4.2 电梯的调试 .....	374
4.3 电梯的验收 .....	375
4.4 自动扶梯的安装 .....	376
4.5 自动扶梯的调试 .....	377
4.6 自动扶梯的验收 .....	377
<b>第 7 篇 建筑照明</b> .....	381
<b>第 1 章 概述</b> .....	383
<b>第 2 章 照明的基本概念</b> .....	384
1 光的理论 .....	384
1.1 光的性质 .....	384
1.2 基本光度量 .....	385
1.3 光的传播 .....	386
2 光和视觉 .....	388
2.1 视觉系统的构造 .....	388
2.2 视觉特性 .....	388
2.3 视觉功效 .....	390
3 颜色 .....	390
3.1 颜色的特性 .....	390
3.2 表色系统 .....	391
3.3 与颜色有关的照明参量 .....	392
<b>第 3 章 照明质量 照明标准</b> .....	395
1 照明质量 .....	395
1.1 照度水平 .....	395

1.2 亮度分布 .....	395	3.1 概述 .....	414
1.3 光源的色表和显色性 .....	395	3.2 矩形等亮度面光源的点照度计算 .....	414
1.4 眩光 .....	396	4 平均照度的计算 .....	414
2 中国的照明标准 .....	398	4.1 概述 .....	414
2.1 照度分级 .....	398	4.2 利用系数法 .....	414
2.2 照明标准值 .....	398	5 单位容量计算 .....	416
2.3 维护系数 .....	400	5.1 概述 .....	416
2.4 作业面邻近周围的照度 .....	401	5.2 单位容量计算 .....	416
2.5 设计照度值与照度标准值的偏差 .....	401	5.3 单位容量计算表的编制条件 .....	416
2.6 照度均匀值 .....	401	<b>第7章 居住建筑照明</b> .....	418
2.7 眩光限制 .....	401	1 居住建筑光环境及其平衡 .....	418
2.8 光源颜色 .....	401	1.1 光线是居住建筑舒适度的一个重要参数 .....	418
2.9 反射比 .....	401	1.2 光的颜色是构成环境气氛的重要因素之一 .....	418
<b>第4章 照明光源</b> .....	402	1.3 居住建筑光环境设计是一个整体概念 .....	418
1 光源的标准和能效标准 .....	402	2 居住建筑照明设计的基本原则 .....	418
1.1 电光源的分类 .....	402	3 居住建筑照明的方式和种类 .....	419
1.2 电光源的性能指标 .....	402	3.1 一般照明与局部照明 .....	419
2 光源 .....	402	3.2 重点及装饰照明 .....	419
2.1 白炽灯与卤钨灯 .....	402	4 居住建筑照明灯具及光源的选择 .....	419
2.2 荧光灯 .....	403	4.1 照明的光影变换 .....	419
2.3 高压钠灯与低压钠灯 .....	403	4.2 居住建筑照明光源 .....	419
2.4 荧光高压汞灯 .....	403	4.3 居住建筑照明灯具选择 .....	420
2.5 其他光源 .....	403	5 居住建筑照明设计 .....	420
2.6 光源主要附件 .....	403	5.1 照明标准及质量 .....	420
<b>第5章 照明灯具</b> .....	405	5.2 居住建筑照明方式、灯具布置方案及控制 .....	420
1 灯具的概述 .....	405	5.3 室外照明 .....	423
1.1 灯具定义 .....	405	6 小结 .....	424
1.2 灯具的主要功能 .....	405	<b>第8章 博物馆和美术馆照明</b> .....	425
2 照明灯具分类 .....	405	1 博物馆、美术馆照明的基本问题 .....	425
2.1 根据用途分类 .....	405	2 基于鉴赏的照明设计要点 .....	425
2.2 根据光源分类 .....	405	2.1 展示(品)照明 .....	425
2.3 根据安装方式分类 .....	405	2.2 展示空间照明 .....	427
2.4 根据材料分类 .....	405	2.3 光源与灯具选择 .....	428
2.5 按照特殊环境分类 .....	405	2.4 安保、维护照明 .....	429
2.6 根据防护等级 IP 分类 .....	406	3 基于保护的照明设计要点 .....	429
2.7 根据国际照明委员会(CIE)推荐的灯具 分类(室内照明) .....	406	3.1 光辐射的热效应 .....	429
2.8 根据防触电保护分类 .....	407	3.2 光辐射的化学效应 .....	429
3 光强 .....	407	3.3 基于保护的照明策略 .....	430
3.1 光强分布 .....	407	4 案例分析 .....	431
3.2 灯具效率 .....	407	<b>第9章 剧院照明系统</b> .....	435
3.3 灯具亮度分布和遮光角 .....	407	1 概述 .....	435
4 灯具的选择 .....	407	1.1 主要特征 .....	435
<b>第6章 照度计算</b> .....	408	1.2 光源灯具 .....	435
1 点光源的点照度计算 .....	408	2 剧院照明设计 .....	436
1.1 点光源点照度的基本计算公式 .....	408	2.1 出入口 .....	436
1.2 点光源水平面和垂直面照度的计算 .....	408	2.2 贵宾室 .....	437
1.3 点光源倾斜面照度计算 .....	409	2.3 观众(演)厅 .....	437
1.4 多光源下的点照度计算 .....	409	2.4 舞台 .....	437
1.5 点光源应用空间等照度曲线的照度计算 .....	409	3 剧院专用术语 .....	439
2 线光源的点照度计算 .....	410	3.1 舞台 .....	439
2.1 概述 .....	410	3.2 专用房间及设施 .....	440
2.2 线光源光强分布曲线 .....	410	4 应用实例 .....	440
2.3 方位系数法 .....	410	4.1 中国评剧大剧院 .....	440
2.4 应用线光源等照度曲线算法 .....	414	4.2 大型剧院 .....	445
3 面光源的点照度计算 .....	414	<b>第10章 体育场馆照明</b> .....	446
		1 体育照明的历史 .....	446

2 体育照明的对象及场馆、比赛分类 .....	446	3.1 夜间景观的分类 .....	465
2.1 照明对象 .....	446	3.2 夜景照明基本设计原则 .....	465
2.2 场馆分类 .....	446	3.3 根据城市功能区域确定灯光景观的主要特征 .....	465
2.3 运动级别 .....	446	3.4 充分利用现代技术和表现手法 .....	465
3 体育运动的分类 .....	447	3.5 夜景照明与城市道路照明 .....	465
3.1 空中运动 .....	447	3.6 环保要求 .....	465
3.2 地面运动 .....	447	4 夜景照明基本方式方法 .....	466
4 体育照明的要求 .....	447	4.1 几种主要夜景照明方式 .....	466
4.1 照度 .....	447	4.2 用光技巧 .....	466
4.2 照度均匀度 .....	448	4.3 城市建筑的夜景照明 .....	466
4.3 照明的光源颜色特性 .....	448	4.4 商业街区的夜景照明 .....	466
4.4 眩光 .....	448	4.5 特殊建筑及构筑物的夜景照明 .....	466
4.5 溢散光 .....	448	4.6 古建、园林、水景的夜景照明 .....	467
4.6 立体感和阴影 .....	448	4.7 节日主题夜景的营造 .....	467
4.7 频闪现象 .....	449	4.8 城市广告与标志照明 .....	468
4.8 灯具噪声 .....	449	5 节能与环保 .....	468
4.9 照明控制 .....	449	5.1 节能是夜景照明设计的基本方针之一 .....	468
4.10 天然采光 .....	449	5.2 控制光污染 .....	468
4.11 照明设计及与建筑的协调 .....	450	6 园林景观元素的照明 .....	469
5 体育照明标准推荐 .....	450	6.1 交通空间照明 .....	469
5.1 水平照度 .....	450	6.2 植物照明 .....	472
5.2 垂直照度 .....	450	6.3 水体照明 .....	474
5.3 照度均匀度 .....	450	6.4 硬质景观照明 .....	476
5.4 光源颜色温和显色指数 .....	451	第12章 学校照明 .....	479
5.5 眩光 .....	451	1 教学(实验)楼照明 .....	479
5.6 应急照明 .....	451	1.1 教室照明的基本要求 .....	479
6 体育场馆电视转播的照明要求 .....	452	1.2 普通教室照明 .....	480
6.1 垂直照度 .....	452	1.3 其他教室照明 .....	483
6.2 照度均匀度 .....	452	1.4 相邻区域照明协调 .....	485
6.3 光源色温及显色性 .....	452	2 图书馆照明 .....	485
6.4 眩光 .....	453	2.1 图书阅览室照明 .....	485
7 体育照明设计的基本考虑 .....	453	2.2 电子读物阅览室照明 .....	485
7.1 照明光源的选择 .....	453	2.3 书库照明 .....	486
7.2 照明灯具的选择 .....	453	参考文献 .....	487
7.3 照明电器的选择 .....	454	第8篇 建筑电气消防系统 .....	489
7.4 照明系统的选择 .....	454	第1章 术语 .....	491
7.5 照明计算 .....	454	第2章 概述 .....	493
8 多功能体育馆照明 .....	454	1 防火设计规范的适用范围和建筑物耐火等级划分 .....	493
8.1 多功能体育馆的照明光源及灯具 .....	454	1.1 防火设计规范的适用范围 .....	493
8.2 多功能体育馆的照明方式 .....	455	1.2 建筑物耐火等级划分 .....	494
8.3 多功能体育馆的照明标准 .....	456	2 火灾自动报警系统保护对象分级 .....	496
9 室外多功能体育场照明 .....	458	3 建筑电气消防系统的组成和分类 .....	497
9.1 小型训练场 .....	459	3.1 建筑电气消防系统的组成 .....	497
9.2 非电视转播的体育场 .....	459	3.2 建筑电气消防系统的分类 .....	497
9.3 带电视转播的体育场 .....	460	第3章 消防报警系统设备 .....	498
10 照明灯具调试 .....	462	1 火灾探测器 .....	498
11 照明结果的测试 .....	462	1.1 火灾探测器的分类及型号 .....	498
第11章 夜景照明 .....	464	1.2 火灾探测器性能指标 .....	499
1 夜景照明设计的基本理念 .....	464	1.3 探测器的构造及原理 .....	499
2 夜景照明规划设计 .....	464	1.4 火灾探测器的选择 .....	503
2.1 设计指导思想 .....	464	1.5 火灾探测器的设置 .....	505
2.2 夜景区域划分及规划要点 .....	464	1.6 常见火灾探测器的接线 .....	506
2.3 规划设计要点 .....	464	2 手动报警按钮 .....	507
2.4 在进行夜景照明规划和设计时应遵守的设计规范 .....	465		
3 夜景照明的特点和基本设计原则 .....	465		

2.1 编码手动报警按钮 .....	507	1.4 消防控制室的信息传输要求 .....	529
2.2 消火栓报警按钮 .....	508	2 自动喷水灭火系统的联动控制设计 .....	529
2.3 手动报警按钮的安装要求 .....	508	3 消火栓系统的联动控制设计 .....	530
3 模块装置 .....	508	4 气体(泡沫)灭火系统的联动控制设计 .....	530
3.1 隔离模块 .....	508	5 防烟排烟系统的联动控制设计 .....	531
3.2 输入模块(亦称监视模块) .....	508	6 防火门及卷帘系统的联动控制设计 .....	531
3.3 输出模块(亦称控制模块) .....	508	7 电梯的联动控制设计 .....	532
3.4 智能型编码输入/输出模块 .....	508	8 火灾警报和应急广播系统的联动控制设计 .....	532
4 消防专用电话 .....	508	9 消防应急照明和疏散指示标志系统的 联动控制设计 .....	532
4.1 消防通信系统的设置要求 .....	508	10 相关联动控制设计 .....	532
4.2 多线制消防电话主机 .....	508	<b>第9章 系统调试及验收</b> .....	533
4.3 总线制消防电话主机 .....	509	1 系统调试 .....	533
4.4 消防电话塞孔 .....	509	1.1 调试准备 .....	533
4.5 消防电话分机 .....	509	1.2 火灾报警控制器调试 .....	533
5 灯光显示装置 .....	509	1.3 点型感烟、感温火灾探测器调试 .....	533
6 区域显示器(火灾显示器) .....	509	1.4 线型感温火灾探测器调试 .....	533
7 布线 .....	509	1.5 红外光束感烟火灾探测器调试 .....	533
<b>第4章 消防报警系统分类及设计</b> .....	510	1.6 通过管路采样的吸气式火灾探测器调试 .....	533
1 火灾自动报警系统 .....	510	1.7 点型火焰探测器和图像型火灾探测器调试 .....	533
1.1 火灾自动报警系统基本组成 .....	510	1.8 手动火灾报警按钮调试 .....	533
1.2 火灾自动报警系统形式及设计要求 .....	510	1.9 消防联动控制器调试 .....	533
1.3 火灾报警控制器的型号编制 .....	513	1.10 区域显示器(火灾显示盘)调试 .....	534
2 火灾探测报警系统新技术 .....	514	1.11 可燃气体报警控制器调试 .....	534
2.1 空气采样火灾探测报警系统 .....	514	1.12 可燃气体探测器调试 .....	534
2.2 双波段图像火焰探测报警系统 .....	515	1.13 消防电话调试 .....	534
2.3 光截面图像感烟探测系统 .....	516	1.14 消防应急广播设备调试 .....	534
3 可燃气体报警系统 .....	516	1.15 系统备用电源调试 .....	535
3.1 可燃气体探测原理 .....	516	1.16 消防设备应急电源调试 .....	535
3.2 可燃气体探测方法 .....	516	1.17 消防控制中心图形显示装置调试 .....	535
3.3 可燃气体报警系统设计 .....	517	1.18 气体灭火控制器调试 .....	535
4 电气火灾监控系统 .....	517	1.19 防火卷帘控制器调试 .....	535
4.1 电气火灾监控系统的组成 .....	517	1.20 其他受控部件调试 .....	535
4.2 电气火灾监控系统的设计 .....	518	1.21 火灾自动报警系统性能调试 .....	535
4.3 电气火灾监控系统的设置 .....	518	2 系统验收 .....	535
4.4 固有泄漏电流估算 .....	519	3 系统接地要求 .....	537
<b>第5章 系统供电及消防设备电源</b> .....	521	4 系统使用和维护 .....	537
1 火灾自动报警系统供电 .....	521	<b>参考文献</b> .....	538
2 消防设备电源 .....	521	<b>第9篇 建筑设备监控系统</b> .....	539
3 消防设备配电线路敷设 .....	521	<b>第1章 建筑设备监控系统概述</b> .....	541
4 消防主电源与应急电源的切换 .....	522	1 建筑设备监控系统定义 .....	541
<b>第6章 火灾应急照明</b> .....	523	2 建筑设备监控系统的功能 .....	541
1 设计要求 .....	523	2.1 建筑设备监控系统的监控目的 .....	541
2 设置标准 .....	523	2.2 建筑设备监控系统的监控内容 .....	541
<b>第7章 火灾应急广播</b> .....	525	3 建筑设备监控系统的监控要求 .....	541
1 火灾应急广播的设置要求 .....	525	3.1 供配电系统 .....	541
1.1 火灾应急广播扬声器的设置要求 .....	525	3.2 公共照明系统 .....	541
1.2 火灾应急广播与公共广播合用时的要求 .....	525	3.3 冷冻水和冷却水系统 .....	541
2 火灾应急广播系统 .....	525	3.4 热源和热交换系统 .....	541
2.1 火灾应急广播播放控制 .....	525	3.5 空调系统 .....	541
2.2 火灾应急广播扬声器的设置数量 .....	525	3.6 通风系统 .....	541
2.3 火灾应急广播系统的分类 .....	525	3.7 给水排水系统 .....	541
<b>第8章 消防联动控制的设计</b> .....	527	3.8 电梯系统 .....	542
1 消防控制室 .....	527	4 建筑设备监控系统工程实施的步骤 .....	542
1.1 消防控制室的设计 .....	527	4.1 建筑设备监控系统工程实施过程 .....	542
1.2 消防控制室的控制和显示要求 .....	527		
1.3 消防控制室的信息记录要求 .....	529		

4.2 实施过程中各方职责 .....	542	4.1 BACnet/IP .....	577
4.3 系统设计阶段 .....	542	4.2 LonWorks/IP .....	577
4.4 工程招投标阶段 .....	543	4.3 RS485/IP .....	578
4.5 工程实施阶段 .....	543	5 管理层的网络设备 .....	578
4.6 检测验收阶段 .....	544	5.1 网卡 .....	578
4.7 运行管理阶段 .....	544	5.2 集线器 .....	578
第2章 相关标准规范介绍 .....	546	5.3 交换机 .....	579
1 智能建筑工程的主要标准规范 .....	546	6 管理层的UPS电源 .....	579
2 关于标准中条文的等级 .....	546	6.1 不间断电源供应系统UPS .....	579
第3章 建筑设备监控系统网络 .....	547	6.2 UPS配置 .....	579
1 概述 .....	547	第5章 建筑设备监控系统控制层 .....	580
1.1 建筑设备监控系统网络 .....	547	1 概述 .....	580
1.2 建筑设备监控系统网络的发展趋势 .....	548	2 控制层网络接口 .....	580
2 网络拓扑结构 .....	549	2.1 网络接口的种类 .....	580
2.1 总线型 .....	549	2.2 网络通信能力 .....	580
2.2 环形 .....	549	2.3 控制层管理层网络通信接口 .....	580
2.3 星形 .....	549	2.4 控制层现场层网络接口 .....	581
2.4 自由拓扑 .....	549	3 自动控制 .....	581
3 网络通信介质 .....	549	3.1 概述 .....	582
3.1 双绞线 .....	549	3.2 控制系统分类 .....	583
3.2 同轴电缆 .....	551	4 数字控制器 .....	584
3.3 光缆 .....	552	4.1 数字控制器的控制过程 .....	584
4 建筑设备监控系统网络三层结构 .....	552	4.2 控制网络 .....	584
4.1 欧洲标准CEN/TC 247网络三层结构 .....	552	4.3 控制器硬件 .....	584
4.2 中国行业标准JGJ 16—2008网络 三层结构 .....	552	4.4 控制器软件 .....	585
5 以太网和互联网 .....	553	4.5 控制器种类 .....	585
5.1 以太网 .....	553	4.6 控制器控制算法(控制策略) .....	587
5.2 互联网 .....	554	4.7 控制器逻辑算法 .....	589
6 现场总线 .....	556	5 控制器产品 .....	589
6.1 建筑设备监控系统现场总线 .....	556	5.1 DDC直接数字控制器 .....	589
6.2 工业控制现场总线 .....	557	5.2 PLC可编程序控制器 .....	591
7 控制层现场总线 .....	557	5.3 HC混合控制器 .....	591
7.1 BACnet及BACnet/IP(ISO 16484—5) .....	557	第6章 建筑设备监控系统现场层 .....	592
7.2 ProfibusFMS(国际标准IEC 61158—3, 欧洲标准EN 50170—2) .....	561	1 概述 .....	592
7.3 WorldFIP(现场总线国际标准 IEC 61158—7) .....	562	2 微控制器 .....	592
8 现场层现场总线 .....	563	2.1 概述 .....	592
8.1 LonWorks现场总线(欧洲标准EN 14908, 中国标准GB/Z 20177—2006) .....	563	2.2 微控制器硬件 .....	592
8.2 KNX(欧洲标准EN 13321/EN 50090) .....	567	2.3 微控制器软件 .....	593
8.3 仪表总线(Meter Bus)(欧洲标准 EN 1434—3) .....	569	2.4 微控制器控制对象 .....	593
8.4 Modbus(中国标准GB/T 19582—2008) .....	571	2.5 微控制器技术规范 .....	593
第4章 建筑设备监控系统管理层 .....	573	2.6 LonWorks微控制器现场总线网络 .....	593
1 概述 .....	573	2.7 BACnet微控制器现场总线网络 .....	593
2 计算机节点 .....	573	3 测量系统 .....	593
2.1 服务器和操作站 .....	573	3.1 概述 .....	593
2.2 服务器和操作站的技术要求 .....	574	3.2 测量仪表在建筑设备监控系统的作用 .....	594
3 数据库系统 .....	574	3.3 测量 .....	594
3.1 概述 .....	574	3.4 测量单位 .....	594
3.2 实时数据库 .....	575	3.5 测量方法 .....	594
3.3 关系数据库 .....	575	3.6 测量误差 .....	595
3.4 分布数据库 .....	576	3.7 测量仪表主要技术数据 .....	595
4 管理层硬件通信接口 .....	577	4 温度传感器 .....	595
		4.1 温度传感器种类 .....	595
		4.2 铂热电阻传感器 .....	595
		4.3 热敏电阻传感器 .....	596
		5 变送器 .....	597
		5.1 定义 .....	597



5.2 作用 .....	597	1.2 空调机组控制 .....	612
5.3 主要参数 .....	597	2 冷冻水和冷却水系统 .....	612
5.4 变送器种类 .....	597	2.1 监控内容 .....	612
6 湿度变送器 .....	597	2.2 自动控制 .....	613
6.1 湿度测量 .....	597	2.3 冷水机组主机单元控制器 .....	613
6.2 湿度变送器工作原理 .....	598	3 热源和热交换系统 .....	614
6.3 电容式湿敏传感器/变送器 .....	598	4 给排水系统 .....	614
7 压力变送器 .....	599	4.1 给水监控系统 .....	614
7.1 压力测量 .....	599	4.2 排水监控系统 .....	614
7.2 压力变送器 .....	599	5 变配电系统 .....	614
7.3 液体压力变送器产品 .....	600	5.1 监测内容 .....	614
7.4 空气压力变送器产品 .....	600	5.2 监测方法 .....	614
8 流量变送器 .....	600	6 公共照明控制系统和电梯系统 .....	615
8.1 流量测量 .....	600	6.1 公共照明控制系统功能 .....	615
8.2 流量变送器 .....	600	6.2 电梯控制系统及其接口 .....	615
8.3 差压式流量变送器 .....	600	7 建筑设备监控系统中央管理工作站 .....	615
8.4 电磁式流量变送器 .....	600	7.1 基本功能 .....	615
8.5 涡轮式流量变送器 .....	601	7.2 中央管理站软件 .....	616
8.6 常用流量变送器性能比较 .....	601	参考文献 .....	617
9 VAV 变风量箱空气流速变送器 .....	601	<b>第 10 篇 安全防范系统与工程</b> .....	619
9.1 VAV 变风量箱风量测量 .....	601	<b>第 1 章 安全防范技术概述</b> .....	621
9.2 皮托管 .....	601	1 安全防范的概念 .....	621
9.3 空气流速计算公式 .....	601	2 安全防范的基本手段和基本要素 .....	621
9.4 VAV 变风量箱的十字架式皮托管 .....	602	3 安全防范技术的专业体系与安全	
9.5 VAV 箱风量 .....	602	防范行业的标准体系 .....	621
10 液位变送器 .....	602	3.1 安全防范技术的专业体系 .....	621
10.1 液位 .....	602	3.2 安全防范行业的标准体系 .....	622
10.2 液位变送器种类 .....	602	<b>第 2 章 安全防范产品、系统与系统集成</b> .....	623
11 气体成分变送器 .....	602	1 安全防范产品 .....	623
11.1 红外线气体成分分析 .....	602	2 系统与系统集成 .....	623
11.2 电化学气体成分分析 .....	602	2.1 系统的基本概念 .....	623
11.3 二氧化碳浓度变送器产品 C7232 .....	602	2.2 系统集成的基本概念 .....	623
11.4 一氧化碳浓度变送器产品 CMD .....	603	2.3 系统集成的主要内容 .....	623
11.5 室内空气品质 .....	603	3 安全防范系统 .....	623
12 执行器 .....	603	<b>第 3 章 安全防范系统的基本构成</b> .....	624
12.1 概述 .....	603	1 入侵报警系统 .....	624
12.2 执行器种类 .....	604	2 视频安防监控系统 .....	624
13 调节阀 .....	604	3 出入口控制系统 [含门禁系统、访客对讲	
13.1 概述 .....	604	(可视) 系统] .....	624
13.2 工作原理 .....	604	4 防爆安全检查系统 .....	624
13.3 调节阀理想流量特性 .....	604	5 电子巡查系统 .....	624
13.4 调节阀权度系数 $S$ .....	605	6 停车库 (场) 安全管理系统 .....	624
13.5 调节阀按照机械结构分类 .....	606	7 安全防范系统的安全管理 (子) 系统 .....	624
13.6 调节阀按照流体流通方向分类 .....	606	<b>第 4 章 安全防范工程</b> .....	632
13.7 调节阀按照流量特性分类 .....	607	1 安全防范工程程序与要求 .....	632
13.8 调节阀流通能力计算 .....	607	1.1 安全防范工程程序 .....	632
13.9 调节阀可调比 $R$ 与调节阀流通能力 $K_V$ .....	609	1.2 工程主要环节要求 .....	632
13.10 调节阀通径与执行器推力/扭矩 .....	609	1.3 现场勘察 .....	632
14 电气系统设备 .....	609	1.4 方案论证 .....	633
14.1 电量变送器 .....	609	2 安全防范工程设计原则与设计要素 .....	633
14.2 变频器 .....	609	2.1 设计原则 .....	633
14.3 继电器 .....	610	2.2 设计要素 .....	633
15 热量表 .....	611	3 安全防范工程设计内容 .....	633
<b>第 7 章 建筑设备监控系统控制原理</b> .....	612	3.1 功能设计 .....	633
1 空调与通风系统 .....	612	3.2 安全性设计 .....	635
1.1 新风机组控制 .....	612		

3.3 可靠性设计 .....	635	4.3 IP 电话的基本原理 .....	665
3.4 电磁兼容性设计 .....	635	<b>第3章 会议系统</b> .....	667
3.5 环境适应性设计 .....	635	1 技术概况 .....	667
3.6 防雷与接地设计 .....	636	1.1 会议系统的发展 .....	667
3.7 供电设计 .....	636	1.2 系统构成 .....	667
3.8 监控中心设计 .....	638	2 会议讨论系统 .....	668
3.9 系统集成设计 .....	639	2.1 工作原理 .....	668
3.10 传输方式与路由设计 .....	639	2.2 主要功能 .....	668
3.11 设备选型举例 .....	640	2.3 系统主要性能指标 (组合链路) .....	668
<b>4 安全防范工程施工、设备安装与系统调试</b> .....	645	3 会议表决系统 .....	669
4.1 工程施工与设备安装总要求 .....	645	3.1 工作原理 .....	669
4.2 设备安装 .....	645	3.2 主要功能 .....	669
4.3 隐蔽工程施工与线缆、光缆敷设 .....	646	4 同声传译系统 .....	671
4.4 系统调试与试运行 .....	646	4.1 工作原理 .....	671
<b>第11篇 通信网络及信息系统</b> .....	649	4.2 有线同声传译系统 .....	671
<b>第1章 综合布线系统</b> .....	651	4.3 红外线同声传译系统 .....	672
1 综合布线介绍 .....	651	5 中央控制系统 .....	673
1.1 总述 .....	651	5.1 概述 .....	673
1.2 综合布线基础模型 .....	651	5.2 中央控制系统的功能 .....	673
1.3 双绞电缆 .....	651	5.3 应用举例 .....	673
1.4 光缆 .....	653	<b>第4章 扩声与公共广播系统</b> .....	675
1.5 连接件 .....	655	1 音响系统基本概念 .....	675
1.6 综合布线发展动态 .....	655	2 扩声系统的基本概念 .....	675
2 标准与规范及设计步骤 .....	656	2.1 扩声系统的作用、特点和组成 .....	675
2.1 标准和规范 .....	656	2.2 扩声系统的主要声学特性指标 .....	675
2.2 设计步骤 .....	656	3 扩声系统设备及其集成技术 .....	676
3 综合布线系统要求与技术规格 .....	657	3.1 扬声器及扬声器系统 .....	676
3.1 总体性能要求 .....	657	3.2 传声器 .....	678
3.2 总体功能要求 .....	657	3.3 调音台 .....	679
3.3 系统及主要设备一般技术要求 .....	657	3.4 音频功率放大器 .....	680
4 系统规划 .....	657	3.5 音频信号处理设备 .....	681
4.1 系统总体规划 .....	657	3.6 扩声设备的互连 .....	682
4.2 系统设计 .....	657	3.7 音响系统的接地 .....	683
5 系统主要功能子系统 .....	658	3.8 音响系统的供电 .....	683
5.1 综述 .....	658	4 公共广播系统 .....	683
5.2 建筑群子系统 .....	658	4.1 公共广播系统的特点及其组成 .....	683
5.3 管理子系统 .....	658	4.2 智能公共广播系统 .....	684
5.4 设备间 .....	658	4.3 智能化公共广播控制中心 .....	684
5.5 干线子系统 .....	658	4.4 公共广播系统的设计 .....	684
5.6 配线 (水平) 子系统 .....	659	<b>第5章 计算机网络系统</b> .....	685
5.7 工作区 .....	659	1 计算机网络通信原理 .....	685
<b>第2章 数字程控用户交换机系统</b> .....	660	2 计算机网络标准 .....	685
1 电话交换机的发展历程和分类 .....	660	2.1 OSI 参考模型 .....	685
1.1 电话交换机的发展历程 .....	660	2.2 局域网参考模型与 IEEE 802 标准 .....	686
1.2 电话交换机的分类 .....	660	2.3 TCP/IP 协议 .....	687
1.3 程控交换机的特点与技术动向 .....	661	3 局域网介质访问方式 .....	691
2 程控用户交换机概述 .....	661	3.1 竞争方式 .....	691
2.1 基本构成 .....	661	3.2 令牌传送方式 .....	691
2.2 程控用户交换机的类型与功能 .....	663	4 局域网技术 .....	691
3 电话系统设计 .....	663	4.1 以太网 .....	691
3.1 线路容量的设计 .....	663	4.2 快速以太网 .....	692
3.2 程控用户交换机的选择 .....	664	4.3 ATM 网络 .....	692
4 IP 电话 .....	665	4.4 千兆位以太网 .....	693
4.1 IP 电话的分类 .....	665	4.5 万兆位以太网 .....	694
4.2 IP 电话的特点 .....	665	4.6 交换式局域网及三层交换技术 .....	694
		4.7 虚拟局域网 (VLAN) 技术 .....	695

4.8 无线局域网 .....	695	3.2 每根引下线的冲击接地电阻 .....	718
5 网络设备 .....	697	3.3 用建筑物的钢筋作为防雷装置 .....	718
5.1 网络适配器(网卡) .....	697	3.4 当土壤电阻率 $\rho \leq 3000 \Omega \cdot m$ 时 关于接地体的规定 .....	719
5.2 中继器 .....	698	3.5 突出屋面的物体的保护方式 .....	719
5.3 集线器 .....	698	3.6 砖烟囱、钢筋混凝土烟囱的保护 .....	719
5.4 网桥 .....	698	3.7 引下线 .....	719
5.5 交换机 .....	699	3.8 防止雷电流引起的高电位反击 .....	719
5.6 路由器 .....	700	3.9 当建筑物高于 60m 时, 应采取的防 侧击雷措施 .....	719
5.7 协议转换器(网关) .....	701	4 其他防雷措施 .....	719
5.8 调制解调器 .....	701	<b>第 4 章 建筑物的雷电侵入波防护</b> .....	720
<b>第 12 篇 防雷与接地</b> .....	703	1 建筑物雷电侵入途径 .....	720
<b>第 1 章 防雷与接地概述</b> .....	705	1.1 沿架空线路的侵入波 .....	720
1 防雷的基本概念 .....	705	1.2 雷电电磁脉冲波 .....	720
1.1 在防雷工程中通常采用的措施 .....	705	1.3 地电位升高对电源的反击 .....	720
1.2 防雷措施及配置中的名词术语 .....	705	2 雷电电磁脉冲防护分区 .....	721
2 接地的基本概念与分类 .....	705	3 过电压保护器件 .....	721
2.1 接地的基本概念 .....	705	3.1 气体放电管 .....	721
2.2 接地配置中的名词术语 .....	705	3.2 氧化锌压敏电阻 .....	721
2.3 接地系统的分类 .....	705	3.3 齐纳 TVS 二极管 .....	722
2.4 各种接地的作用 .....	705	4 避雷器 .....	722
<b>第 2 章 雷电及其防护</b> .....	707	5 浪涌保护器 (SPD) .....	722
1 雷电的基础知识 .....	707	5.1 浪涌保护分级 .....	722
1.1 雷云的形成 .....	707	5.2 电源浪涌保护器选择原则 .....	723
1.2 雷电放电过程 .....	707	5.3 浪涌保护器的选型 .....	723
1.3 雷击的选择性 .....	707	6 降低入侵高电位的措施 .....	724
1.4 雷击的部位 .....	707	6.1 配电变压器的防雷保护 .....	724
1.5 雷电参数 .....	708	6.2 电源保护 .....	725
1.6 雷电效应及其危害 .....	708	6.3 信号部分保护 .....	725
2 建筑物的直击雷防护 .....	709	6.4 通信线保护 .....	726
2.1 建筑物年预计雷击次数 .....	709	6.5 天馈线保护 .....	727
2.2 防雷分类 .....	709	7 屏蔽、接地和等电位联结的要求 .....	727
2.3 防直击雷装置 .....	710	7.1 屏蔽要求 .....	727
2.4 避雷针(线)的保护范围 .....	711	7.2 接地要求 .....	728
2.5 其他类型的防直击雷装置介绍 .....	713	8 建筑物内的电位均衡方法 .....	730
<b>第 3 章 建筑物的防雷措施</b> .....	716	<b>第 5 章 建筑物电子信息系统 防雷防护等级的确定</b> .....	731
1 第一类防雷建筑物防直击雷措施 .....	716	1 风险评估计算的意义 .....	731
1.1 第一类防雷建筑物防直击雷的措施 .....	716	2 电子信息系统雷电电磁脉冲防护等级的 风险评估计算方法 .....	731
1.2 当建筑物太高或其他原因难以装设独立 防直击雷装置时的措施 .....	716	3 雷电防护等级的确定原则 .....	732
1.3 当建筑物高于 30m 时, 应采取防侧击 的措施 .....	717	4 建筑物电子信息系统工程雷电防护分级 设计方案的选择 .....	732
1.4 树木的保护措施 .....	717	<b>第 6 章 接地</b> .....	734
2 第二类防雷建筑物防雷措施 .....	717	1 3~10kV 供电系统的接地 .....	734
2.1 第二类防雷建筑物防直击雷的措施 .....	717	1.1 我国电力系统的中性点 .....	734
2.2 每根引下线的冲击接地电阻 .....	717	1.2 接地方式的选用条件 .....	734
2.3 利用建筑物的钢筋作为防雷装置 .....	717	1.3 常用接地方式的技术分析与综合评价 .....	734
2.4 当土壤电阻率 $\rho \leq 3000 \Omega \cdot m$ 时关于接地体的规定 .....	718	2 低电配电系统的接地型式 .....	738
2.5 防止雷电流引起的高电位反击 .....	718	3 供、配电系统的接地 .....	739
2.6 有爆炸危险的露天钢质封闭气 罐的防护措施 .....	718	3.1 我国现行电力行业标准《交流电气装置的接地》 (DL/T 621—1997) 规定 .....	739
2.7 当建筑物高于 45m 时, 应采取的 防侧击雷措施 .....	718	3.2 国际电工委员会的建筑物电气装置 .....	740
3 第三类防雷建筑物的防雷措施 .....	718	3.3 建筑物中供、配电系统的防雷 .....	741
3.1 第三类防雷建筑物防直击雷的措施 .....	718	4 变配电装置保护接地的范围 .....	741

4.1 保护接地的作用 .....	741	9 防静电接地 .....	752
4.2 保护接地范围 .....	741	9.1 静电的产生及危害 .....	752
4.3 可不接地的范围 .....	742	9.2 防静电的主要方法 .....	753
4.4 严禁保护接地的范围 .....	742	9.3 防静电接地的措施 .....	753
5 接地要求及接地电阻的确定 .....	742	<b>第9章 接地电阻的计算</b> .....	754
5.1 接地要求 .....	742	1 接地电阻的概念 .....	754
5.2 接地电阻值的确定 .....	742	2 土壤和水的电阻率 .....	754
6 接地装置 .....	743	3 均匀土壤中接地电阻的计算 .....	754
6.1 自然接地极的利用 .....	743	3.1 人工接地极的接地电阻计算 .....	754
6.2 人工接地装置 .....	743	3.2 自然接地体的接地电阻计算 .....	756
7 变电所接地 .....	744	4 非均匀土壤中接地电阻的计算 .....	757
7.1 变电所的接地网设计应着重解决的问题 .....	744	5 影响土壤电阻率的因素 .....	757
7.2 变电所的接地装置 .....	744	5.1 土壤含水量对接地电阻的影响 .....	757
<b>第7章 等电位联结</b> .....	746	5.2 季节变化对接地电阻的影响 .....	757
1 等电位联结的作用 .....	746	5.3 屏蔽效应对接地电阻的影响 .....	757
2 总等电位联结 .....	746	6 其他环境因素对土壤电阻率的影响 .....	758
3 辅助等电位联结 .....	746	7 冲击接地电阻的计算 .....	758
4 局部等电位联结 .....	747	7.1 单独接地体的冲击接地电阻 .....	758
5 等电位联结线的截面积 .....	747	7.2 多根水平接地体或垂直接地体 的冲击接地电阻 .....	758
<b>第8章 通用电气设备接地</b> .....	748	<b>第10章 高土壤电阻率地区降低接地电阻的措施</b> .....	760
1 手持式电力设备的接地 .....	748	1 高土壤电阻率地区降低接地电阻的常用措施 .....	760
1.1 手持式电气设备的保护接地线 .....	748	2 外引接地降阻 .....	760
1.2 手持式电气设备的插座结构形式 .....	748	3 井式和深钻式接地极 .....	760
1.3 安全电压下使用的插头及插座的构造 .....	748	4 换土法 .....	760
2 移动式电气设备的接地 .....	748	5 敷设水下接地网降阻 .....	760
3 直流电气设备接地 .....	748	6 使用降阻剂降阻 .....	760
4 电子设备的接地 .....	749	6.1 接地降阻剂的基本性能要求 .....	760
4.1 电子设备的接地种类 .....	749	6.2 化学降阻剂 .....	761
4.2 电子信息设备的接地系统形式 .....	749	6.3 物理降阻剂 .....	762
4.3 接地系统形式的选择 .....	749	7 永冻土地区的降阻措施 .....	762
4.4 电子设备的接地电阻值 .....	749	<b>参考文献</b> .....	763
4.5 信号接地线及接地母线材料选择 .....	750	<b>第13篇 建筑物电磁兼容技术</b> .....	765
4.6 其他保护措施 .....	750	<b>第1章 概述</b> .....	767
5 电话交换机的接地 .....	750	1 电磁场理论与电磁兼容性概述 .....	767
5.1 电话交换机的接地装置的种类 .....	750	1.1 静电场 .....	767
5.2 电话交换机的接地要求 .....	750	1.2 静磁场 .....	767
5.3 电话交换机的接地电阻要求 .....	750	1.3 电磁场 .....	767
6 大、中型电子计算机接地 .....	750	1.4 电磁兼容 .....	767
6.1 电子计算机接地的种类 .....	750	2 辐射骚扰及危害 .....	769
6.2 电子计算机的接地电阻值要求 .....	750	3 传导骚扰及危害 .....	769
6.3 电子计算机的接地装置 .....	750	3.1 传导骚扰及相关概念 .....	769
6.4 电子计算机接地装置的抗干扰措施 .....	751	3.2 谐振 .....	770
6.5 信号接地线的选择 .....	751	3.3 损耗增大 .....	770
6.6 电子计算机房可根据需要采取防静电 接地措施 .....	751	3.4 设备过载 .....	770
7 医疗电气设备接地的要求 .....	751	3.5 对敏感负荷的干扰 .....	770
7.1 接地装置的类型 .....	751	3.6 经济影响 .....	770
7.2 供电系统的接地型式 .....	751	4 静电及危害 .....	770
7.3 防微电击保护措施 .....	751	5 电能质量 .....	771
7.4 辅助等电位联结措施 .....	751	6 电磁屏蔽 .....	771
7.5 医疗电气设备接地电阻的要求 .....	752	6.1 屏蔽原理 .....	771
7.6 其他要求 .....	752	6.2 屏蔽效能的定义与表达式 .....	772
8 屏蔽接地 .....	752	<b>第2章 供配电系统谐波防治技术</b> .....	774
8.1 屏蔽接地的概念 .....	752	1 谐波的产生 .....	774
8.2 设置屏蔽接地的必要性 .....	752	2 配电系统谐波危害 .....	774
8.3 屏蔽接地的设置方式 .....	752		

3 谐波源 .....	777	第4章 电子与信息系统的抗干扰技术 .....	793
3.1 半导体型 .....	777	1 电子与信息系统的抗扰度 .....	793
3.2 铁心型 .....	777	1.1 抗扰度的基本考虑 .....	793
3.3 电弧型 .....	777	1.2 批量生产的考虑 .....	793
4 常见谐波源参数 .....	777	1.3 电磁兼容的成本 .....	794
4.1 电视机 .....	778	2 辐射抗扰度测试及有关要求 .....	794
4.2 非线性照明用电 .....	778	2.1 电磁场辐射抗扰度测试 .....	794
4.3 空调机 .....	779	2.2 工频磁场抗扰度测试 .....	796
4.4 电冰箱 .....	780	3 传导抗扰度测试及有关要求 .....	797
4.5 洗衣机 .....	780	3.1 低频连续传导抗扰度测试及要求 .....	797
4.6 计算机 .....	780	3.2 脉冲传导抗扰度测试及要求 .....	799
5 公共电网的电能质量标准 .....	780	3.3 高频连续传导抗扰度测试及要求 .....	803
6 用电设备的谐波限值 .....	782	4 静电抗扰度测试及要求 .....	804
6.1 16A 及以下的单相设备 .....	782	4.1 静电放电抗扰度试验 .....	804
6.2 每相输入电流大于 16A 且 小于 75A 的设备 .....	782	4.2 直接放电 .....	805
7 谐波的防治 .....	783	4.3 间接放电 .....	805
8 谐波治理措施 .....	784	5 电磁兼容防治技术及有关产品 .....	805
8.1 无源吸收谐波装置 .....	784	5.1 电子信息系统的电磁兼容设计 .....	805
8.2 有源滤波器 .....	785	5.2 电源干扰的防护 .....	805
9 滤波技术 .....	785	5.3 信号线路的过电压保护 .....	805
9.1 无源滤波器 .....	785	5.4 管线设计 .....	806
9.2 有源滤波器 .....	785	5.5 电磁屏蔽技术 .....	806
第3章 防静电工程 .....	787	5.6 电子信息系统的接地与等电位联结 .....	807
1 防静电工程分级标准 .....	787	第5章 人类生活环境与电磁场 .....	809
2 防静电工程设计 .....	787	1 架空输配电线路电磁辐射的计算 .....	809
2.1 防静电环境对电气设计的基本要求 .....	787	1.1 110~500kV 高压交流架空线路产生的 无线电干扰场强的计算方法 .....	809
2.2 防静电环境电气器具和设施的设计 .....	787	1.2 超高压送电线下空间的工频电场强度 计算方法 .....	809
2.3 防静电放电接地配置 .....	788	1.3 超高压送电线下空间的工频磁场强度 计算方法 .....	811
2.4 接地功能配置 .....	788	2 人类生活环境电磁场强度限值 .....	812
2.5 防静电环境管道工程 .....	789	2.1 环境电磁场的分级标准 .....	812
2.6 防静电环境课题和通风工程 .....	790	2.2 民用建筑物环境电磁场强度限值 .....	812
2.7 防静电安全工作台 .....	790	3 输配电设备电磁污染的预防与治理 .....	812
3 防静电工程材料 .....	791		
4 防静电工程检测 .....	791		

中国电气工程大典

CHINA ELECTRICAL ENGINEERING CANON

第14卷  
建筑电气工程

# 第1篇 概 论

主 编：洪元颐 孙成群 刘晓钟 吴金祥





# 第1章 建筑工程概述

## 1 建筑的基本概念

### 1.1 建筑相关的几个基本概念

建筑:

- 1) 建筑物和构筑物的通称。
- 2) 工程技术和建筑艺术的综合创作。
- 3) 各种土木工程、建筑工程的建造活动。

“建筑”一词对应于英文中的三个词,即 architecture, building 和 construction。在《辞海》中:第一条解释是一个具体的概念,相当于英文中 building 一词。第二条解释的建筑是抽象的概念,相当于建筑学的含义,即英文中 architecture 一词。第三条解释是动词性的解释,相当于建造,即英文中 construction 一词。

建筑物:通称“建筑”。一般指主要供人们进行生产生活或其他活动的房屋或场所。例如:工业建筑、民用建筑和园林建筑等。

建筑物的概念比建筑的概念要具体。本章中建筑分类部分即是建筑物和构筑物的分类。

建筑学:研究设计与建造建筑物的一门科学。主要内容为研究建筑功能、建筑技术、建筑艺术以及三者之间的相互关系;研究建筑设计方法以及如何运用建筑构造、施工、材料、设备等方面的科学技术成就,建造反映时代面貌并适应生产与生活需要的建筑物。

### 1.2 建筑是空间和造型的艺术

什么是建筑,有各种各样的定义,其中较为普遍的一种说法是:建筑是空间的艺术。

现代建筑理论的先驱提出,建筑是空间的艺术。我国古代哲学家老子早在《道德经》里对建筑空间已有精辟的论述,“凿户牖以为室,当其无,有室之用。故有之以为利,无之以为用。”意思是,开凿门窗形成房屋,空的空间有房屋的功能。所以,有形的部分形成的功用,是依靠虚空部分来实现的。

一般建筑物都有内部的空间,建筑即空间的艺术。纪念碑、塔等建筑没有内部空间,但这些建筑四周所形成的虚空间便属于建筑,对这些空间的设计属于这类建筑设计内容的一部分。以天安门广场上的人民英雄纪念碑为例,纪念碑周围的空间也是人民前往瞻仰、活动的地方,设计纪念碑的工作,除了包括纪念碑形体比例的设计以外,周围空间形状、尺寸、铺地等也是设计要考虑的因素。

建筑也可以理解为是一种造型的艺术。

西方曾把建筑比作是“凝固的音乐”,“是由光和影构成的形体”。这种说法强调了建筑和雕塑等艺术形式在造型这一本质上的相同。在我国古代建筑平面以间为单位基本以长方为主。不同类型和级别的建筑通过不同造型的屋顶来区别。常见的屋顶形式有:庑殿顶、歇山顶、悬山、硬山、攒尖等。欧洲建筑更加强调建筑造型。从希腊神庙到罗马浴场,从哥特风格到巴洛克风格,建筑平面形状更为多样,造

型风格更是丰富。现代建筑形成至今,建筑在造型风格上的发展持续不断,风格流派多元。无论专业人士还是普通大众对建筑造型的关注从未间断。人们常常从建筑造型便可将建筑区分为极少主义、高级派、新古典主义、解构主义。

## 2 建筑的本质与特征——建筑是技术与艺术的综合

### 2.1 建筑的基本功能

建筑是为人类提供庇护的人工环境。人类可以在其中吃饭、睡眠、工作、娱乐等。与变换的自然环境相比,这个环境可以避风雨雷电,避野兽昆虫,温度恒定。建筑的功能即由其作为庇护所而展开。具体而言可以分为如下几项:

- 1) 为人类的维持新陈代谢提供需求。提供新鲜空气、洁净水,以及粪便污水等垃圾的清除。
- 2) 提供舒适的室内温度状况。
- 3) 感观的舒适、私密性的创造。
- 4) 控制各种生物的进出。动物和昆虫都在其列,还包括人。
- 5) 动力的提供,如电力等。

这样的一种人造之物是如何来实现的呢?物质条件是起码的,这种物质条件便是一种人类在技术上的状况。精神层面的因素同样会伴随着技术的实现而发挥着自己的作用。艺术即是这种精神层面的体现。

人类和动物有许多的相似之处。动物躯体的长毛和爪子帮助它们在自然环境下生存,它们建造巢穴或者住在自然界的遮蔽物里。动物身上的毛和锋利的牙齿人类也曾有。在石器时代里,人们聚集在一起狩猎,四处游走,像动物一样寻找自然界的遮蔽物,如山洞。

### 2.2 建筑与技术

人类为了实现及改进建筑的遮蔽功能,不断将技术的成果转变为建筑技术加以运用。建筑的技术层面主要涉及材料、结构、构造等方面。下面分别论述它们与建筑之间的关系。

#### 2.2.1 材料

材料是构成建筑的第一要素,不同的材料因为其在强度、刚度、抗弯性等性能的差异而导致其结构形式、构造形式等方面的巨大差异。

在中国已知的最早的建筑形式中,北方以黄河流域的木骨泥墙建筑为代表,南方以长江流域的杆栏式建筑为典型。这主要是由当时社会的建筑技术水平决定的。在新石器时代,木和泥土是当时生产工具能够驾驭的材料,人类以这些材料为自己创造了当时情况下最好的庇护。西周时代在建筑材料中出现了瓦。于是便有了从“茅茨土阶”到“瓦茨土阶”的转变。瓦使得屋顶的防雨水功能极大提高,改善了房屋的物理性能,延长了房屋的使用寿命。

砖的出现对建筑的意义非常重要。此时建筑的坚固耐久性有了很大的提高,同时建筑的密闭性能极大地改观,房间

的遮风挡雨的能力极大增强,室内的温度更为稳定。房子给人类提供了远好于过去泥墙、石墙所围合的空间。

铁和玻璃在建筑中的运用为建筑带来了崭新的一页。水晶宫是将铁和玻璃第一次在建筑中作为主要材料使用,在很短的时间内便建造起了巨大的展览空间,产生了晶莹剔透的建筑效果。现代混凝土的发明使用,是和现代工业革命相联系着的。除了满足建筑在更大跨度和更高高度方面的要求外,房屋更加坚固,更加耐久。人在其中的舒适度也远胜于过去砖、石造的房子。

钢的发明使得结构的发展决定性地向前迈进。铁已有三四千年的历史,但直到钢的发明才使铁的强大的受拉性能被发现利用,于是摩天大楼出现了。

### 2.2.2 结构

支撑结构的发展历史与建筑的发展同样密切相关。英格兰的石阵是个很好的例子。两块桩入地面的石柱支撑一块花岗岩石板,石头抗压性能良好,抗弯性能差。因此石梁的跨度被限制在3~4m之内。古希腊时代很长的时间内,都没有找到好的解决办法,这就是雅典神庙围满了柱子的原因。罗马人穹隆顶的发明向前进了一步,跨度突然可以变得很大,罗马万神庙跨度已是30m。

承载结构的思路已明确,使拉力转化为压力,以适合石头的性能。拉力不存在了。人们开始尝试用各种办法平衡侧向的压力,如罗马式中圆形的拱和穹隆顶。哥特式则试图通过尖券来解决问题。文艺复兴时期,伯鲁乃列斯基设计的佛罗伦萨大教堂穹顶以较为理想的线型解决了侧压力的问题。到了18世纪数学家发现了抛物线,彻底解决了这一问题。可以看到,对结构的研究给予了建筑发展的支持,同时,建筑对结构及支撑上的要求也促进着结构的发展。

### 2.2.3 构造

构造是在更深入地实现着建筑的围合和结构性能。过去一堵外墙只用一种材料(砖、石)来建造这样就够了。但今天这样还不够。人们要考虑不同的材料,由各自不同功用的材料来达到理想的效果。不同的材料分为不同的层,并按一定的次序安排拼合起来形成镶板。镶板做为建筑的外表面而应用,它是构成幕墙的基本构件。幕墙从框架结构中分离,以精确的尺寸系统,通过工业生产,以安装的方式运用到建筑上。

## 2.3 建筑与艺术

艺术的发展与建筑的发展亦是紧密关联。以文艺复兴为例,14世纪发端的文艺复兴是一种思想潮流。它反映了资产阶级有了经济实力后,在整个社会中寻求相应的政治和文化地位的要求。资产阶级搬出了古典文化的外衣来反对旧有的封建统治阶级。在建筑上兴建了自己的府邸、市政厅等。在建筑的形式上以古典的思想来指导。建筑语言上,则运用古典时期的柱式。后期巴洛克对曲线与视感效果的追求,洛可可对装饰的取向,更是非常明确地体现着艺术上的取向对建筑形式与内容的直接影响。

现代主义是从功能与技术的角度发起的一场革命。这场革命取得了很大的胜利。同时,在美学上产生了自己全新的体系。在20世纪,抽象的、简洁的风格得到了很大的认同,以至于简洁=大方=现代。

较之文学、艺术领域的变革发展,建筑因为要求很大的物质基础来实现,其变化要缓慢得多。这样,其他艺术领域的发展变化对建筑的影响便显得更为明显。20世纪后期,

西方发达国家随着科技的飞跃,经济有很大的发展。一些国家向后工业社会过渡,或者叫做信息化社会。文艺领域出现了许多的新观念、新理论、新流派。这些观点有一些与现代主义的思潮有明显的不同,甚至对立、冲撞,被称作“后现代主义”思潮。其中有位著名的后现代主义评论家查尔斯·詹克斯把西方盛行的语言学和符号学的观念和方法引入到建筑学中,将建筑当作一种语言来对待。在建筑中一时后现代主义大肆流行,历史主义、新地方主义、隐喻主义等各种主义大行其道。

由此可见,建筑本身具备着艺术的属性,同时深受其他艺术门类的影响作用。

## 2.4 建筑是技术与艺术的综合

中国古代建筑中的斗拱既是屋檐出挑的结构构件,又是屋身与屋顶在形象上的过渡,兼具技术与艺术的双重功能。中国古建筑还有许多构件的收头处理,如挑尖梁头、蚂蚱头、雀替等都是以这样的性质出现的。

在东西方对建筑材料的选择使用中,也可以看到审美与物质限制的双重作用。西方选择了石头作为大量建筑的主要用材;而东方以中国为首的东亚国家则选择木材作为主要建筑用材。据考古、史学研究,除了特定的地理、气候的限制因素外,东西方不同的世界观及由世界观决定的艺术观亦是非常重要的原因。

如果建筑的发展比作两条腿走路的话,一条腿是技术,另一条腿是艺术。

## 3 建筑的发展趋势——中国建筑的全球化

### 3.1 通过中国建筑看当代建筑发展

伴随着近代工业革命,建筑学的发展产生了极大的飞跃。最终在20世纪20年代形成了以批判复古,结合工业生产为背景的现代主义建筑运动。其发展在60年代达到了顶峰。其后,西方建筑界呈现多元化的发展趋势。在多元化的今天,建筑的理论与实践工作者对当代建筑发展的趋势做一些思考是非常必要的。

中国在现代化的进程中落后于西方,相应当代中国建筑的发展较之西方亦有较大的差距。然而,在现代化的进程中,这种差距,同时也给中国建筑在理论与实践两个方面都提供了很好的发展契机。因此,以中国这样的发展中国家的建筑发展为对象,来研究当代建筑的发展,更具典型性,亦更具现实意义。

全球化与地域性是当代建筑发展中的两个方面,二者在相互的批判中共同推动着当代建筑向更高层次的发展。

### 3.2 国际式的由来,再到全球化

#### (1) 国际式建筑

1922年,柯布西耶出版《走向新建筑》一书,书中激烈批判复古主义的建筑思想,鼓吹从新兴的工业技术,吸取新的建筑创作的启示。在欧洲,一些年轻的建筑师开始探索新的建筑形式。

1931~1932年美国建筑评论家希契科克(Henry Russell Hitchcock)与菲利普·约翰逊鉴于上述欧洲新兴建筑活动已渐成熟,但尚不为美国所了解,就对欧洲运动的四个领袖人物——格罗庇乌斯、柯布西耶、奥德及密斯,并增加了一些美国建筑师如赖特等加以介绍,写成《1922年以来的国际式建筑》(The International Style: Architecture Since

1922)。这可以看作“国际式”概念的正式提出。此后国际式建筑在世界范围内风行,产生了广泛的影响。

### (2) 全球化的含义

“全球化”概念古已有之。原始社会经济不发达,交通不便利,信息不畅通,各文明在相对封闭状态下发展。其后的奴隶社会、封建社会中先后出现一些在经济、政治、军事、文化发展处于强盛的帝国,如古罗马帝国。这些帝国向外扩展,将其发达的经济、政治、文化向不发达地区扩张,这可以看作全球化的雏形。近代,伴随着工业革命而产生的殖民主义化,资本主义国家在被殖民国家以掠夺原料,倾销产品为主要特征的国际化是当今全球化的前身。全球化,概括而言,就是政治、经济、文化、思想打破国家、民族、地域的限制,在当代高度发达的科学技术支持下,更加深入、快速地传播、交流、融合。20世纪60年代末70年代初,全球化概念在国际经济学、政治学、文化学中普遍使用。80年代全球化概念演变成一个概括未来时代特征的基本概念。

### (3) 中国建筑的全球化

建筑全球化的概念提出是在经济、文化领域全球化概念之后。建筑作为经济和文化的结合物,同时服务于政治,它的发展必然地体现着全球化这一特征。在中国,古代的佛塔可看作佛教“全球化”在古时的体现。近代的殖民城市形成,如上海、哈尔滨、大连、青岛等则是近代殖民化的产物。现在,国际建筑领域最新的风格、主义、手法很快地被复制、模仿、学习,在中国的建筑、城市中出现。新的建筑技术、建筑材料非常便捷地被国际范围实现着。上海的金茂大厦,香港的汇丰银行等重要的超高层建筑的建设中,大量的建筑构件是由世界上多个国家加工制造的。而且,建筑施工过程中也有很多的国外工程师参与。可以说,全球化一直以来作为重要一部分体现在中国建筑的发展中。在当今,其重要性更为突出。

## 3.3 全球化在当代中国的普遍影响与现实意义

全球化对当代中国建筑带来最大影响的就是城市化的快速发展,城市规划与建筑设计领域内国际建筑师与规划师的参与。

### (1) 全球化与城市化

在经济全球化与科学技术全球化的影响下,中国的城市化进程普遍加快,并形成外向型的经济中心城市,如上海、香港。京津唐地区、沪宁杭地区、珠江三角洲等地区将成为高效率的大型和特大型的城市群。其中沪宁杭地区将列入世界最大的城市群地区。预计到2020年,上海的城市化进程将达到85%。

### (2) 全球化与建筑

全球化对建筑的冲击表现为在新思潮和现代科学技术的推动下,以建筑文化的国际化来影响本土建筑文化,20世纪50年代中国受当时苏联的影响而产生“复古主义”、“形式主义”的倾向。西方和境外建筑师再度迅速进入中国建筑界是从20世纪80年代开始的,先是以贝聿铭设计的北京香山饭店(1979~1982)、香港王董建筑师事务所设计的上海华亭宾馆(1982~1986)为代表。进入20世纪90年代,上海金茂大厦和上海大剧院举行的方案竞赛以国际招标形式出现,并且最终由境外事务所赢得设计权。如前所提到的,自1999年国家大剧院以来北京的几个大型奥运项目及2010上海世博会园区规划等规模大、投资高、影响大的项目,同样由境外事务所全面胜出。

与此同时,中国建筑师与境外建筑师在观念上和设计思

想上产生了巨大的碰撞。中国建筑师开始重新认识西方的当代建筑和建筑师。针对全球化时期的中国建筑发展,中国建筑界兴起了几轮大讨论:境外的建筑师给我们带来了什么?我们如何应对?如何提升中国的建筑设计理论与实践水平等。

下面以近年活跃在中国建筑设计市场的GMP事务所为例,来看全球化带给我国建筑界的影响。

GMP是一家来自德国的事务所。它在世界范围内获得了认可,取得了很大的成功。在中国的建筑设计竞标中,更是被称为“常胜将军”。GMP出手干练,设计概念明确而通俗易懂,没有夸张的结构表现。GMP设计手法保持高度一致性,功能明确,非常关注城市设计。业主从商业的角度出发接受了它的这种具有现代建筑意义的设计思想。比较于20世纪80年代以来的欧陆风,这说明了中国建筑市场品味的提高,也是经济发展的必然,是中国建筑界在交了20年学费以后的进步。

同时也可以看到,GMP的方案还挑战着我们的建筑市场。它给我们提供着现代化的东西——简洁的、明了的、本体的东西,但并不是便宜的东西。建筑的构造与节点要做得高级一点,材料要买新一点。GMP的方案貌似朴实,实际上,却要求有极高的施工能力与之配合,又要求有技术水平较高的施工队来加以落实设计要求。它暗示了当代建筑的某些绝对技术标准和商业标准。这正是我们的差距所在,也是我们建筑的前进、发展方向所在。

### (3) 全球化与建筑人才

全球化既影响着经济的融合与发展和文化思想的多元,也促使人力资源的合理流动。在中国20年的飞速发展,中国的城市和建筑开始吸引着全球建筑师的眼球,“海归”就是这一潮流的一种现象,海归正改变着中国的建筑界。

部分“海归”有着良好的海外教育背景,有的还有境外建筑公司实践的经历。同时在资源信息方面占有优势,已迅速成为国内建筑市场的活力因素。他们的敬业精神、实践经验、市场活力、整合能力等方面的积累,对今后中国建筑设计行业的发展带来启示和动力。

## 3.4 全球化走向“批判性地域主义”

### (1) 建筑全球化过程中的问题

技术和生产方式的全球化带来了人与传统地域空间的分离,地域文化的特色正在逐渐衰微;标准化的生产致使建筑环境趋同,设计平庸,建筑文化的多样性遭到扼杀。巨大的经济、社会变革使得社会生活日新月异、错综复杂。人们不再满足于现代建筑的理论与实践。正如一位评论家所言:“任何一个世纪都不可能像现代主义盛行时期那样,广大民众和美学评论家的品味如此天壤之别。”

21世纪,城市居民的数量首次超过农业人口,人类社会真正迎来了“城市时代”。然而精心设计的城市成果辉煌,见证着人类的文明。同时,诸多城市问题也接踵而至,交通堵塞、居住质量低劣,并且日益恶化。

在以欧洲及后来欧美为中心的时代里,新建筑得到很大的推动和发展。但同时,以某些发达国家为代表的“消费民主”(Consumer Democracy)对建筑也产生了不好的影响。从汽车交通、高层建筑、郊区独立住宅,到房地产商在全世界的流行等,这种观点在发展中国家被一般人,甚至专业人士和某些决策者认为是现代化的唯一途径。这种认识是不可取的。由于历史原因,发展中国家的发展落后于发达国家约

百年甚至更久的时间,其经济条件、社会状况与发达国家有着巨大的差异。因此,发展中国家要根据自身条件,探索适合自身发展的道路。

#### (2) 传统文化与地域主义的由来

人类不能企图用一种模式解决全世界的问题,也不能简单地认为仅仅通过单纯的技术手段来解决全世界错综复杂的问题。以中国为例,沿海城镇密集地区与西北、西南地区,在经济发展、地理条件、文化背景、所存在的问题等方面都不一样。因此,解决问题的途径便不能一样。

传统文化对全球化的批判伴随着全球化的始终。当现代主义建筑潮流向北欧扩散不久,以阿尔托为代表的有“地方性”倾向的芬兰建筑师便开始了对现代主义的批判性接纳。其他如拉美等的情况亦类似。在中国,对建筑的传统性、民族性认识,以20世纪20~60年代的民族复兴中可以看到。当时北京的“十大建筑”中所体现的民族性上产生了许多建筑精品。尽管在今天看来,形式的推广上还有许多的难度。

全球化下,科学技术的进步,一方面推动着多元化的兴起;另一方面,地域差异在缩小,“文化趋同”现象进一步加剧。同时,地域性是建筑的基本属性,是建筑存在、发展的基础。

全球化与地域主义可以看作“一个硬币的两面”。二者均不可或缺,具有其积极意义。当代建筑必将由全球化的主流走向批判地域主义的升华中。中国建筑要主动吸取世界建筑文化的精华,融入世界建筑的发展水平;同时要“对中国传统文化进行哲学意义上的批判认识”,走自己特色的发展道路,并汇入世界的“普世化”之中。全球化与地域主义也可以表述为“乡土建筑的现代化,现代建筑的地区化”。

## 4 建筑的分类与分级

### 4.1 按建筑物的用途分类

按建筑物的用途通常可以分为非生产性建筑和生产性建筑两大类。非生产性建筑即民用建筑;生产性建筑包括工业建筑和农业建筑两类。

#### 4.1.1 民用建筑

民用建筑又可以分为居住建筑和公共建筑两类。

##### (1) 居住建筑

居住建筑是为人们提供生活、起居等居住功能的建筑物,如住宅、宿舍等。

##### (2) 公共建筑

公共建筑是提供人们居住以外其他行为活动的建筑物。包括以下建筑:

- 1) 办公建筑:各类写字楼。
- 2) 文教建筑:学校、图书馆、文化宫等。
- 3) 体育建筑:体育馆、体育场等。
- 4) 医疗建筑:医院、疗养院等。
- 5) 商业建筑:商场、购物中心等。
- 6) 博览建筑:博物馆、展览馆等。
- 7) 观演建筑:剧院、电影院、音乐厅等。
- 8) 旅馆建筑:旅馆、度假村等。
- 9) 交通建筑:机场航空楼、火车站等。
- 10) 纪念性建筑:纪念堂、陵园等。
- 11) 综合体建筑:商业综合体等。
- 12) 园林建筑:公园、动物园、植物园等。
- 13) 其他建筑:监狱、公厕等。

### 4.1.2 工业建筑

工业建筑是满足工业生产需要的各类建筑,包括生产车间、辅助车间、动力用房、仓库等。

### 4.1.3 农业建筑

农业建筑是满足农业生产和加工需要的建筑,包括温室、饲养场、粮库、粮食与饲料加工站、农机站等。

### 4.2 按建筑物的层数或高度分类

按层数或高度一般可将建筑分为单层建筑、低层建筑、多层建筑、高层建筑及超高层建筑。不同类型建筑的层数或高度分类还有一定的差异。

1) 住宅建筑的分类:1~3层为低层;4~6层为多层;7~9层为中高层;10层以上为高层;建筑高度超过100m为超高层建筑。

2) 公共建筑的分类:建筑高度24m以下为低层或多层公共建筑;建筑高度超过24m而未超过100m者为高层建筑。建筑高度超过100m为超高层建筑。

3) 工业建筑的分类:工业建筑分为单层、多层和高层工业建筑。

### 4.3 按主要承重结构所用材料分类

1) 木结构建筑:墙、柱、楼板、屋顶所用材料均为木材的建筑。

2) 砖木结构建筑:墙体所用材料为砖石、楼板和屋顶所用材料为木材的建筑。

3) 砖混结构建筑:墙体所用材料为砖石、楼板和屋顶所用材料为钢筋混凝土的建筑。

4) 钢筋混凝土结构建筑:由钢筋混凝土柱梁板承重的建筑。

5) 钢结构建筑:钢梁钢柱组成承重结构体系的建筑。

6) 其他结构建筑:如生土建筑、充气建筑等。

## 5 主要民用建筑类型

### 5.1 居住建筑

#### 5.1.1 居住区

##### (1) 定义

居住区是城市居民居住和日常活动的区域,是城市的有机组成部分。居住区可泛指不同规模的生活聚居地,也可特指被城市干道或自然分界地所包围,并与居住规模相对应,配建有一套较完善的或能满足该区居民物质与文化生活所需的公共服务设施的生活聚居地。

##### (2) 居住区用地组成

住宅用地、公建用地、道路用地和公共绿地四项。

##### (3) 公共服务设施分类

教育、医疗卫生、文化体育、商业服务、金融邮电、市政公用、行政管理和其他共八类设施。

##### (4) 规模及分类

居住区的合理规模为人口3~5万,用地50~100hm<sup>2</sup>。按居住户数或人口规模,居住区可分为居住区、小区、组团三级。各级标准控制规模,应符合表1.1-1的规定。

#### 5.1.2 住宅

住宅是供家庭日常居住使用的建筑物,是人们为满足家庭生活需要,利用自己掌握的物质技术手段创造的人造环境。



表 1.1-1 居住区标准控制规模

	居住区	小区	组团
户数(户)	10 000~16 000	3000~5000	300~1000
人口(人)	30 000~50 000	10 000~15 000	1000~3000

住宅应按套型设计,每套应设卧室、起居室(厅)、厨房和卫生间等基本空间。

#### (1) 住宅分类

按房屋政策属性分类,主要分为廉租房、公有住房、经济适用住房、集资房等。

按设计特点分类可分为单元式住宅、塔式住宅、公寓式住宅、花园式住宅、跃层住宅、错层住宅、复式住宅、跃复式住宅、退台式住宅等。

按套型组合关系,可分为独立住宅和集合住宅两大类。独立住宅是指建筑内部套型之间不需要公共交通组织,每户套型独立对外出入,独立有院落或有露台等独立的户外空间,一般是低层住宅。集合住宅是指建筑内部套型之间需要公共交通组织,有楼梯、电梯、门厅等公共空间。目前市场上住宅形式多样,种类繁多。独立住宅产品形式主要有:别墅、双拼(并联)别墅、联排别墅、叠拼别墅等。集合住宅产品形式主要有:单元式住宅、塔式住宅等。

#### (2) 几种常见形式住宅定义

1) 单元式住宅。单元式住宅又叫楼梯间式住宅,是以一个楼梯为几户服务的单元组合体,一般为多、高层住宅所采用。单元式住宅的基本特点有:

①每层以楼梯为中心,安排户数较少,一般为2~4户,大进深的每层可服务于5~8户。住户由楼梯平台进入分户门,各户自成一体。

②户内生活设施完善,既减少了住户之间的相互干扰,又能适应多种气候条件。

③建筑面积较小,户型相对简单,可标准化生产,造价经济合理。

④仍保留一定的公共使用面积,如楼梯、走道、垃圾道;保持一定的邻里交往,有助于改善人际关系。

2) 塔式住宅。塔式住宅又称高层独立单元式住宅。设置电梯,服务户数比较多。其平面布局因地区差异而形成不同的轮廓。如南方地区夏季炎热,往往采用十字、井字形平面,以其凹口解决通风问题;北方则更强调日照,要求每户都有较好的朝向。此外,十层以上的塔式住宅还要求设消防电梯,十二层以上则需设两部电梯。

3) 独院式住宅。这是一种独户居住的单幢住宅,有独立的院落,居住环境安静,室外生活方便。建筑四面临空,平面组合灵活,内部各房间容易得到良好的采光和通风,居住舒适。

4) 双拼(并联)式住宅。一般由两户住宅并联组成。每户形成三面临空的独用庭院。二、三层并联式住宅一般每个单元楼上楼下归一户使用,但也有楼上楼下分户居住的,前后小院可分户专用。

5) 联排式住宅。一般由多个独户居住的单元并联组成。各户在房前房后有专用的院子,供户外活动及家务操作之用。这类住宅的日照及通风条件都比较好。二、三层联排式住宅一般每个单元楼上楼下归一户使用。但也有楼上楼下分户居住的,前后小院则分户专用。

6) 智能化住宅。随着建筑技术的发展,智能化住宅成为未来住宅发展的主要趋势之一。智能化住宅是指将各种家用自动化设备、电器设备、计算机及网络系统与建筑技术和

艺术有机结合,以获得一种居住安全、环境健康、经济合理、生活便利、服务周到的感觉,使人感到温馨舒适,并能激发人的创造性的住宅型建筑物。一般认为具备下列四种功能的住宅为智能化住宅:

- ①安全防卫自动化。
- ②身体保健自动化。
- ③家务劳动自动化。
- ④文化、娱乐、信息自动化。

## 5.2 办公建筑

### (1) 定义

办公建筑即写字楼,满足企业/组织从事智力型生产经营活动为主的建筑物。办公建筑应根据使用性质、建设规模与标准的不同,确定各类用房。一般由办公用房、公共用房、服务用房等组成。

### (2) 分类

按使用对象可分为行政办公楼、专业办公楼、出租写字楼、综合性办公楼,详见表1.1-2。

表 1.1-2 办公楼分类表<sup>①</sup> (按使用对象)

类 别	使 用 对 象
行政办公楼	各级党政机关、人民团体、事业单位和工矿企业的行政办公楼
专业办公楼	为专业单位办公使用,如科研办公楼,商业、贸易等行业办公楼
出租写字楼	用以出租的办公楼,使用者是不特定的多个企业组织
综合性办公楼	以办公为主,兼有公寓、旅馆、商店、展览等公共设施的建筑物

①根据《建筑设计资料集4》第二版,第1页中“分类”表整理而成。

按功能特征可分为总部大楼型、分公司大楼型、公司后援型、研究开发型,详见表1.1-3。

表 1.1-3 办公楼分类表<sup>①</sup> (按功能特征)

类别	功能特征及内容	条件特征
总部大楼型	作为企业(组织)的中枢设施。办公内容和办公形态根据公司特征决定	建筑要注重企业形象的表达
分公司大楼型	业务对象范围较广的场合分散配置办公空间	—特殊办公空间为主体。拥有大量具有突出特定功能的设备
公司后援型	将企业(组织)的一部分功能集中在一起以支持公司的经营活动。办公内容和办公形态都有一定的限制	银行的分行等,直接反映企业(组织)的业务形态
研究开发型	高科技企业的研究、开发部门使用	要求高度信息化和灵活性的设备设计

①根据日本建筑学会编《建筑设计资料集成——综合篇》,第445页中表[1]整理而成。

## 5.3 文教建筑

### 5.3.1 托儿所幼儿园

#### (1) 定义

托儿所幼儿园是对幼儿进行保育教育的机构,接纳3周岁以下幼儿的为托儿所,接纳3~6周岁幼儿的为幼儿园。

## (2) 分类

全日制托儿所/幼儿园。

寄宿制托儿所/幼儿园。

### 5.3.2 中小学校

小学：18 班一般规模建筑 7500m<sup>2</sup>，用地 9500m<sup>2</sup>；服务规模 1.8 万人/处。24 班一般规模建筑 10 000m<sup>2</sup>，用地 12 500m<sup>2</sup>；服务规模 2.4 万人/处。24 班以下学校应设不低于 200m 的环形跑道和 60m 的直跑道。

初中：18 班一般规模建筑 9500m<sup>2</sup>，用地 13 000m<sup>2</sup>；服务规模 3.6 万人/处。24 班一般规模建筑 12 500m<sup>2</sup>，用地 17 000m<sup>2</sup>；服务规模 4.8 万人/处。30 班一般规模建筑 15 600m<sup>2</sup>，用地 21 000m<sup>2</sup>；服务规模 6 万人/处。24 班以下学校应设不低于 200m 的环形跑道和 100m 的直跑道，25 班以上学校应设不低于 300m 环形跑道和 100m 的直跑道。

“九年一贯制”学校：设置 200m 环形跑道和 100m 直跑道，有条件的应设置 400m 环形跑道，同时应保证设置足够的篮、排球场地。

高中：30 班（1275 生）一般规模建筑 16 000m<sup>2</sup>，用地 22 000m<sup>2</sup>；服务规模 3 万人/处。应设不低于 400m 环形跑道和 100m 的直跑道。<sup>①</sup>

### 5.3.3 高等学校

（1）学校规模控制，以学生人数为参数

超大型：大于 15 000 名（综合、理工）

大型：9000～15 000 名（综合、理工、师范）

中型：3000～9000 名（理工、师范、农林、医药、财经、政法）

小型：500～3000 名（艺术、体育）

（2）校园建筑功能构成

校园建筑按功能特征有教学、科研、生产后勤、文体、学生生活、教职工生活等。

### 5.3.4 图书馆

各类图书馆性质、规模、任务及服务对象差别较大，管理方式不尽相同。图书馆的分类见表 1.1-4。

表 1.1-4 图书馆分类

公共图书馆	国家图书馆
	省（市）图书馆
	县（市）图书馆
	区图书馆
	基层图书馆
	少年儿童图书馆
科学研究系统图书馆	专业图书馆
	综合图书馆
高等教育图书馆	学校图书馆
	学院图书馆
	科系图书馆
中小学图书馆	

一般图书馆功能组成：公共用房、目录室、借阅室、阅览室、视听阅览室、学术报告厅、书库、业务技术用房。

### 5.3.5 文化馆

文化馆是中国为开展群众文化工作、进行社会教育而设立的事业机构，是群众学习文化和进行文化娱乐活动的场所。文化馆通过举办讲座、展览、阅读、演出等活动，向群众进行宣传教育，并组织 and 辅导群众业余艺术表演和文艺创

作等。<sup>②</sup>

## 5.4 体育建筑

体育建筑类型较多，一般按运动项目、室内与室外和有无看台进行分类。多数体育建筑兼容多种运动项目，故其分类含有一定的综合性。根据建筑物组成多少和使用性质，还可分为体育中心、体育俱乐部等综合体育建筑。按功能，体育设施一般由竞技、观览、管理三个要素构成。

国家体育总局体育设施建设和标准办公室将体育建筑分类如下<sup>③</sup>：

1) 田径类：体育场、运动场、田径房。

2) 球类：体育馆、练习馆、灯光球场、篮排球场、手球场、网球场、足球场、高尔夫球场、棒球场、垒球场、曲棍球场、橄榄球场。

3) 体操类：体操房、健身房。

4) 水上运动类：游泳池、游泳馆、游泳场、水上运动站、帆船运动场。

5) 冰上运动类：冰球场、冰球馆、速滑场、速滑馆、旱冰场、花样滑冰馆。

6) 雪上运动类：速降滑雪场、越野滑雪场、跳台滑雪场、花样滑雪场、雪橇场。

7) 自行车类：赛车场、赛车馆。

8) 汽车类：摩托车场、汽车赛场。

9) 其他类：赛车场、射击场、射箭场、跳伞塔、棋类馆、跑马场、赛马场。

## 5.5 商业建筑

商业建筑，满足商业行为、商家的营销活动和顾客的购物活动的行为场所。

商店建筑按使用功能分为营业、仓储和辅助三部分。建筑内外应组织好交通，人流、货流应避免交叉，并应有防火、安全分区。

商店建筑的营业、仓储和辅助三部分建筑面积分配比例可参照表 1.1-5 的规定。

表 1.1-5 商店建筑面积分配比例表

建筑面积 (m <sup>2</sup> )	营业 (%)	仓储 (%)	辅助 (%)
>15 000	>34	<34	<32
3000～15 000	>45	<30	<25
<3000	>55	<27	<18

注 1. 商店建筑，如营业部分混有大量仓储面积时，可仅采用其辅助部分分配比。

2. 仓储及辅助部分建筑可不全部建在同一基地内。

3. 如城市设置集中商品储备库和社会服务设施等较完善时，可适当调减仓储、辅助部分分配比。

主要商业营业形态有：百货商店、综合超市、专卖超市等。

主要商业建筑形态有：百货商店、购物中心、大型超市等。

商业设施和其他设施复合形成的商业综合体建筑也是当前商业建筑的一种发展趋势。复合的功能一般有办公、住宿、娱乐。按复合功能种类可以分类为多种，商业综合体建

① 北京市规划委员会，北京市新建改建居住区公共服务设施配套建设指标修订稿，2005。

② 辞海，1989 年版，P1733。

③ 中国体育设施建设网 <http://www.csiso.com>。



筑分类见表 1.1-6<sup>●</sup>。

表 1.1-6 商业综合体建筑分类

复合功能			复合化的意义
办公	住宿	娱乐	
○			在城市中心的办公区域设商业设施的例子很多。对于商业设施而言可以给公司办公人员提供一个购买日常用品的空间
	○		方便住宿客人购物,两种功能重合吸引更多客人
		○	利用娱乐设施吸引顾客,两种功能重合吸引更多客人
○	○		将办公、住宿、商业复合,形成具有多种用途但互不干涉的设施群
	○	○	大型娱乐设施和商业、住宿的结合,如迪斯尼
○	○	○	最大限度发挥综合体建筑的优点

## 5.6 医疗建筑

医院功能分为三大区:医疗区、医技区、后勤供应区。医疗区包括门诊部、急诊部或急救中心、住院部。医技区兼教学区和科研区。

按功能分区设置出入口有:病人出入口、医护人员出入口、后勤供应出入口、尸体出入口。

## 5.7 博览建筑

### 5.7.1 博物馆

博物馆是供搜集、保管、研究和陈列、展览有关自然、历史、文化、科学、艺术、技术方面的实物或标本之用的公共建筑。

博物馆应由藏品库区、陈列区、技术及办公用房、观众

服务设施等部分组成。观众服务设施应包括售票处、存物处、纪念品出售处、食品小卖部、休息处、厕所等。

博物馆分为大、中、小型。大型馆(建筑规模大于 10 000m<sup>2</sup>)一般适用于中央各部委直属博物馆和各省、自治区、直辖市博物馆;中型馆(建筑规模为 4000~10 000m<sup>2</sup>)一般适用于各系统省厅(局)直属博物馆和省辖市(地)博物馆;小型馆(建筑规模小于 4000m<sup>2</sup>)一般适用于各系统市(地)、县(县级市)局直属博物馆和县(县级市)博物馆。

### 5.7.2 展览馆

展览馆是展出临时性陈列品的公共建筑。展览馆通过实物实例、照片、模型、电影、电视、广播等手段传递信息,促进发展与交流。

展览馆性质、规模差别较大,建筑组成各有侧重。展览馆一般应包括下列基本组成部分:展览区、观众服务区、库房区、办公后勤区。

## 5.8 观演建筑

剧场、音乐厅的部门构成大致分为舞台背后工作人员活动的区域和外部包括观众席在内的观众接待区域。后台工作人员活动区域是指以后台、管弦乐队控制室、舞台工作人员室、彩排室为主的供演出者使用的后台部门,制作、管理办公也属于后台部门。

按演出类型,剧场可分为歌剧剧场、话剧剧场、戏曲剧场、音乐厅、多功能剧场。剧场规模分级见表 1.1-7。

表 1.1-7 剧场规模分级表

规模分级	特大型	大型	中型	小型
观众容量	1600 以上	1201~1600	801~1200	300~800

● 根据日本建筑学会编写的《建筑设计资料集成——综合篇》,第 459 页中表 [1] 整理而成。

## 第2章 建筑电气概论

世界高新技术发展日新月异,高新技术及其产业发展的水平已经成为新产业革命的重要技术基础。已成为我国经济社会可持续发展的重要支撑和国家安全根本保障,也是国家国力和竞争力的综合体现。在全球化背景下,知识、信息、人才等科技资源的流动加快,新兴、交叉学科不断涌现,大大缩短了高技术产业化的周期,技术交叉融合的趋势增强,专利和技术标准已经成为当今国际科技竞争的制高点。科学技术在经济社会发展和人类文明进程中发挥了更加明显的基础性和带动性作用。“科学技术是第一生产力”,邓小平同志的一句名言成为这一过程的总结。

建筑电气技术的发展,是与电气科技发展同步的。自从改革开放以来,我国与国际上有着广泛的技术交流,国际上许多先进的新产品、新技术不断涌入中国建筑市场,使建筑电气行业迈出了新的一步。尤其是信息技术的发展,如计算机技术、控制技术、数字技术、显示技术、网络技术以及现代通信技术的发展,使建筑电气技术实现了飞跃。从20世纪70年代末期的南京金陵饭店开创了高层建筑国内外合作设计先例,相继在广东、深圳、上海、北京等地陆续建设了一批高层建筑。广大设计单位都感觉到建筑电气技术的发展速度之快,是闭关自守多年的设计者所始料不及的。通过与国外同行的交流,引进新产品、新技术,并应用到建筑领域中来,促进和加快了我国的建筑电气技术的进步。

伴随建筑技术的迅速发展和现代化建筑的出现,建筑电气设计的范围已由原来单一的供配电、照明、防雷和接地,发展成为近代物理学、电磁学、电子学、光学、声学等理论为基础的应用于建筑工程领域内的一门新兴学科,并逐步应用新的数学和物理的新理论,结合电子计算机技术及信息技术向综合应用的方向迈进。这不仅使建筑物的供配电系统实现了自动化,而且对建筑物内的给排水系统、空调制冷系统、自动消防系统、保安监控系统、通信及闭路电视系统、经营管理系统等实现了最佳控制和管理。因此,建筑电气已经成为现代电气科学领域中的一个重要部分,同时建筑电气也成为现代电气科学发展的一个重要标志。

### 1 建筑电气的概念

#### 1.1 建筑电气的定义

“建筑电气”多年来没有一个规范的定义,更说不清楚它的内涵。广大电气设计及施工安装从业人员经过了多年的艰苦实践和科学地探索,形成了今天这样一个综合性的工程学科。

“建筑电气”广义的解释是:建筑电气是以建筑为平台,以电气技术为手段,在有限空间内,为创造人性化生活环境的一门应用学科。

“建筑电气”狭义的解释是:在建筑物中,利用现代先进的科学理论及电气技术(含电力技术、信息技术及智能化技术等),创造一个人性化生活环境的电气系统,统称为建筑电气。

这里谈及的“电气技术”主要由电力技术、信息技术及

各类楼宇智能技术等综合而成的。

#### 1.1.1 电力技术

电力系统是指以提供电能和使用传输电能为目的的电路及其相关线路。一般来说其处理对象是电力能源,其特点是电压高、电流大、功率大、频率低,它把发电厂的电力供给用户把各类型发电厂、变电所和用户连接起来组成发电、输电、变电、配电和用户的整体。因此,电力系统又通常称为供电系统或输配电系统。输、配电线路和变电所是连接发电厂和用户的中间环节,是电力系统的一部分,称为电力网。在电力系统中,直接供电给用户的线路称为配电线路。如果是380/220V,则称为低压配电线路。把电压降为380/220V的用户变压器称为用户配电变压器。如果用户是高压电气设备,这时的供电线路应采用高压配电;连接用户配电变压器及其前级变电所的线路也称为高压配电线路。以上所指的低压,是指1kV以下的电压。1kV及以上的电压统称为高压。一般还把3kV、6kV、10kV等级的电压称为配电电压,把高压为这些等级的电压的降压变压器称为配电变压器;接在35kV及其以上电压等级的变压器称为主变压器。因此,配电网是10kV及以下的配电线路和配电变压器所组成的。它的作用是将电力分配到各类用户。“建筑电气”中的电力系统通指10kV及以下的配电网,而发电、高压供电网则不属于“建筑电气”范畴。

#### 1.1.2 信息网及各类楼宇智能系统

信息网及各类楼宇智能系统通指计算中心、电话、广播、电视、机电设备自控、计算机网络、火灾自动报警等系统,它们是体现建筑现代化的重要组成部分,相当于人体中的大脑及神经系统,承担了思考和指挥的信息专递。但是“建筑电气”范畴不包括电话局、电视台、网站等中心机房。“建筑电气”所包含的是这些系统的终端用户层。

### 1.2 建筑电气的重要特征

由于建筑电气是人们在建筑中接触最为密切的电气系统。“人性化”是建筑电气的最重要特征。建筑电气是直接为人的生活服务的,人的需要就是建筑电气存在的根本。特别表现在如下几个方面:

#### 1.2.1 保证使用者的安全可靠

这是对建筑电气的首要技术要求。在民用建筑中操纵电气设备的一般不是专业电气技术人员,所以对触电的防范就显得非常重要。触电是指电流通过人体或动物体而引起的病理、生理效应。触电分为电伤和电击两种伤害形式。电伤是指电流对人体表面的伤害。它往往不致危及生命安全;而电击是指电流通过人体或动物体内部直接造成对内部组织的伤害,它是具有危险性的触电伤害,往往会导致严重的后果。

触电对人体的电击可分为直接接触电击和间接接触电击。直接接触电击是指人体直接接触电气设备或电气线路的带电部分所遭受的电击。直接接触电击的特征是人体接触电压所形成的触电电流。直接接触电击带来的危害程度是最为严重的。直接接触电击所形成的人体的触电电流总是远大于可能引起心室颤动的极限电流。间接接触电击是指电气设备

或电气线路绝缘损坏发生单相接地故障时,其外露部分对地故障电压,人体接触此故障电压的电气设备或电气线路外露部分而遭受的电击。间接接触电主要由于接触电压或跨步电压导致人身伤亡的。

直接接触保护是指阻止接触在正常工作条件下带电的部件。直接接触保护可分为:完全直接接触保护;局部的直接接触保护;通过故障电流(剩余电流)保护装置的补充保护。间接接触电击是指电气设备或电气线路绝缘损坏发生单相接地故障时,其外露部分对地故障电压,人体接触此故障电压电气设备或电气线路外露部分而遭受的电击。防止间接接触电击通常有以下的技术措施:合理选自动切断电源保护(包括采用剩余电流保护装置)并辅助等电位联结;使工作人员不致同时触及两个不同的电位点;使用双重绝缘或加强绝缘;采用局部等电位联结;采用电气隔离等。

### 1.2.2 高灵活性

频繁而随意地操作是人性化的一个突出表现,但这给电气及电器技术提出了极高的要求。合理设计建筑电气的各个系统和运用先进的电气设备对满足建筑功能要求及节约基建投资是极为重要的。即要根据电气系统的要求,保证在各种运行方式下提高供电的连续性;要使电气系统力求简单、明显、没有多余的电气设备;投入或切除某些设备或线路的操作方便。避免误操作,处理事故也能简单迅速。灵活性还表现在具有适应发展的可能性,特别是末端的电气设备必须满足操作的随意性。

### 1.2.3 可持续发展性

由于各种新技术的迅速发展,特别是智能化技术在建筑电气技术的应用,以及家用电器技术的日新月异,各种新功能演变使人们目不暇接;尤其在网络化通信技术的发展,人类开始步入信息化时代;可持续发展的远瞻性是万万不可忽视的。这样才能使建筑的功能适应时代发展的脚步,而时代的发展无时不以人的意志为指向,可持续发展也充分显示了“人性化”这个主题。

### 1.2.4 安全私密性

通信技术的发展是以“人为”的主题进行的,人类的信息传达是指挥整体运动的基础。诸多因素都会影响“信息”的“正确”性,当然这里的因素即包括有“人为”的也包括“外界非人为”的。但无论哪种形式都必须排除,安全的保障是时时刻刻、方方面面的。只有这种安全性,技术才能具有发展的优势。

总之,随着科技的发展,尤其是计算机技术的广泛应用,建筑的功能日益丰富,建筑电气也日益体现出以电能、电气设备、计算机技术和通信技术为手段,创造、维持和改善室内空间的电、光、热、声以及通信和管理环境的一门科学,使建筑物更充分地发挥其特点,实现其功能的作用。

## 2 建筑电气最新发展综述

经过多年的发展,建筑电气已经建立了自己完整的理论和技术体系,发展成为一门独立的学科。主要包括:建筑供电技术,建筑设备电气控制技术,电气照明技术,防雷、接地与电气安全技术,现代建筑电气的智能化,自动化技术,现代建筑信息及传输技术等。

近几年建筑电气技术的发展特别快,这里把一些重要的内容进行概括。

### 2.1 建筑工程中压配电系统

建筑工程中其电源一般是来自城市电网,往往中压配电

系统是建筑工程中的中心。

中压配电系统是指向民用建筑供电的用户终端配变电所、用户中压开关站及配电系统,直接作为电力系统的用户单位,为该工程的中压变电设备、电动机等中压用电设备供电。

建筑工程中采用中压供电的用户面很宽,用电设备的设备容量从100kW、变压器容量从50kVA以上至设备容量数万kW及变压器容量数万kVA。

建筑工程的用户终端配变电所电源进线是根据用户用电负荷对供电可靠性的要求及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度的分级,电力系统的供电环境及自备发电设备确定的。

建筑工程的中压配电系统多采用树干式配电、放射式配电、环式配电。

建筑工程的用户终端配变电所的电能计量可采用“高供高计”及“高供低计”。

民用建筑工程中,合理用地使配变电所有相当大比例设在地下层、避难楼层及设备楼层。

民用建筑工程中,适应防火需要大量采用干式变压器、真空断路器、难燃性电容器、环氧树脂全密封浇注的电压互感器、环氧树脂浇注的电流互感器等不带可燃性油的中压配变电设备。

建筑工程的中压配电装置大量采用开关及操作机构、继电保护、测量、信号、网络通信装置等组成的户内型中压成套开关设备(高压开关柜)。

在近短短20多年中,这些系统的技术和产品发生了巨大的变化,许多设计的理念也随之发生了巨大的变化。例如高压系统中的高压开关柜,其最早采用的断路器为油断路器,后逐渐发展到少油断路器,不仅体积大,而且不防火。所配置的高压开关柜体积大,还必须独立设置在自己的隔间内,占用了很大的建筑面积。现在所采用的真空断路器和SF<sub>6</sub>断路器,不仅体积小,而且短路容量也高,柜体尺寸也比原来的柜子小了许多,由于断路器无任何油,防火性能大大提高,并且可以与其他低压设备共置一个房间内,既节省了空间,又方便了管理。

### 2.2 建筑低压配电系统

低压配电是指电压小于1000V的配电系统。低压配电系统的基本要求是:变电所的位置应尽可能接近负荷中心;满足用电负荷对电能质量的要求;达到电力部门所要求的功率因数等,特别是满足用电负荷对电能可靠性的要求。

电力配电系统,概括地讲可分为五个层次:第一层次是传输层次,即实现电力配电系统用电设备的有线传输;第二层次是保护层次,即实现电力配电系统的各级保护;第三层次是控制层次,即实现电力配电系统的各级控制;第四层次是计量层次,即实现电力配电系统的计量;第五层次是安全防护层次,即电力配电系统在实际过程中,实现保证电力配电系统和人身隔离。在建筑电力系统中的五个层面在低压配电及控制系统要和中压配电系统构成统一的整体。

建筑电气是电气技术、自动化控制技术、计算机技术以及信息处理技术与建筑艺术有机结合的产物。要确保其安全性,还必须具备足够方便舒适的多功能空间,因此,建筑设备、尤其是建筑电气设备也随之趋于多样化、复杂化和现代化,从供配电到传动控制、照明到安全防范、建筑智能化等以及它们的设计、安装施工、维护管理等诸多方面,内容广泛且越来越复杂,特别是在低压配电系统中更是如此。

### 2.2.1 住宅负荷计算及配电系统

#### (1) 住宅用电负荷概念

以往住宅设计给人们的感觉无非就是几个灯泡和几个插座,随着生活水平的提高,住宅电气的设计已由传统意义上的“楼上楼下,电灯电话”,变成了一个体现设计水平的直观窗口。而住宅本身用电负荷的变化生活地体现了这一变化。既要合理地按现有生活水平进行住宅电气设计,以节约投资、避免浪费,又要在设计中具有前瞻性,避免在规定的时间内设计造成住宅用电量不足的问题。特别是住宅触及了千千万万的广大民众标准的微小变化,所以将会造成巨大的资金投入。因此住宅用电负荷标准、住宅需用系数、每户用电负荷及相关的参数便引起了社会方方面面的极大关注。

住宅用电负荷的理论和计算方法如下:

1) 确定每户用电负荷计算的理论基础。由于居民的用电负荷是由居民的家用电量所决定,而反映这个负荷的最重

要的指标就是各类家用电量的普及率(即平均每户对某类家用电器的拥有量),它是居民生活水平的直接体现。它的基值决定了现在的居民用电负荷,它的发展速率则决定了未来的用电负荷量。

家用电量的普及率也有着科学的发展规律。可以认为它有三个台阶:第一个台阶(也称Ⅲ类家用电器)是高普及率的(如电视机、电冰箱等);第二个台阶(也称为Ⅱ家用电器)是中普及率的(如电饭锅等);第三个台阶(也称Ⅰ类)是低普及率类(如电取暖等)。

2) 确定多用户的用电负荷计算的统计理论基础。在《城市住宅建筑电气设计研究》一书中,第一次提出了在计算多户的计算负荷时应遵循一个“同时系数与户数的关系曲线”经过 10 多年的考验和校正,演变成了一条重要的需用曲线,如图 1.2-1 所示。

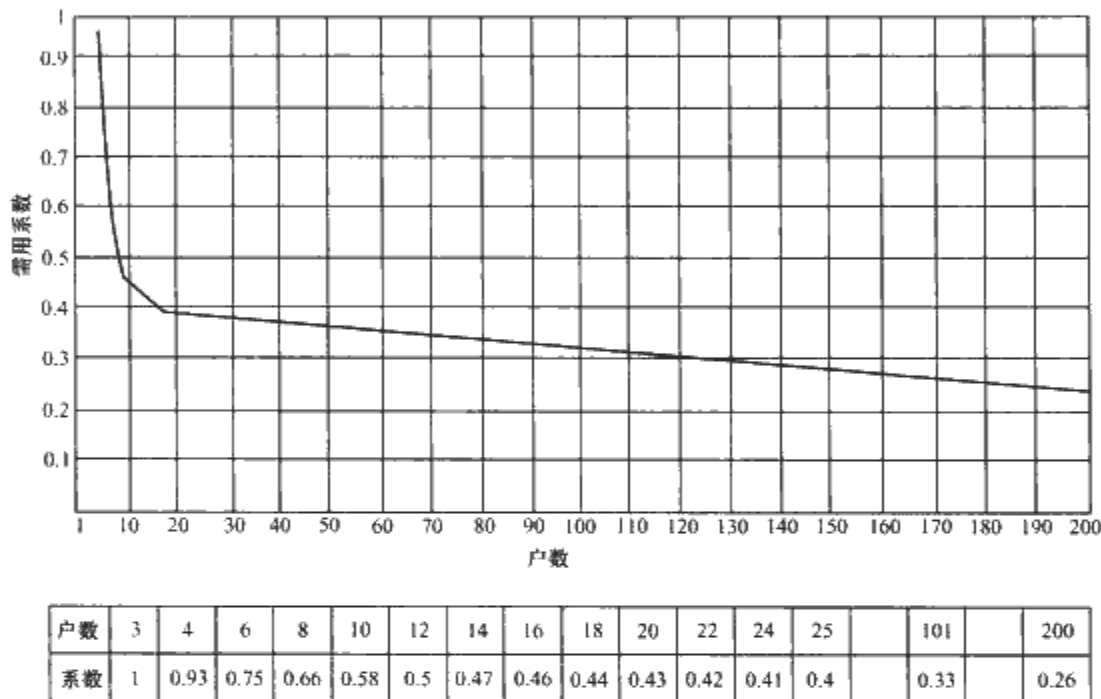


图 1.2-1 同时系数与户数的关系曲线

这里有几点需要注意:首先这里的户数是指单项线路中所带的用户数,如果是三相四线制(或五线)供电系统,则要以最大单项负荷用户数计算。其二,如果三室及以上的户数比较多,而一、二室户比较少的供电线路,需用系数可选稍偏小者;而小室户数较多时,需要系数也选稍偏大者。

3) 确定住宅负荷的计算模式,摆脱了在住宅设计中逐个计算设备容量的方法,对住宅用电负荷给出了初步的量化指标。

4) 确定小区供配电系统的开闭站—变电所—(高、多层)Ⅱ接箱—(高层柜)—一层表箱的供电系统。

5) 与供电、消防等部门设计并定型了Ⅱ接箱、高层柜等专为住宅建筑配套供电设备,使住宅设计规范化,为施工、管理带来了方便。

这些设计方法及设计参数的确定经过深入地研究、比较,并广泛地征询了多方意见,对当时乃至现在的住宅设计起到了深远的影响。除住宅用电负荷标准等参数在随生活水平提高变化外,其余的均沿用至今。

#### (2) 北京市住宅建筑电力负荷设计标准

在一个以住宅为主的民用建筑群中,建筑物可被分为居住建筑和公共建筑(含公用设施建筑或构筑物)。居住建筑负荷分为两类:一类是住宅本身的用电负荷,含住宅照明及住宅家用电器;另一类是公共区负荷,含照明和动力两部分

负荷。

1) 住宅内电气负荷计算需确定的几个先决条件:

① 所在地理位置及气候条件:北京市属于北暖温带亚湿润季风性气候。最高日平均气温为 26℃,最低日平均气温为 -6℃。

② 冬季采暖条件:北京市属采暖区。2000 年全市热力集中供热 5012 万 m<sup>2</sup>。因此现阶段仍以市政或小区集中式供暖为主,暂不考虑电采暖方式。

③ 炊事能源条件:北京市现阶段炊事能源以天然气、液化石油气及燃煤为主,暂不考虑电炊方式。

2) 户内照明负荷:住宅各种房间的不同使用功能及人员活动频率决定了光源的种类、灯具的形式及对光线变化的不同要求,反映到电气设计上便是照度要求。

① 确定建筑标准。根据国家住宅与居住环境工程中心在 2002 年编写的《健康住宅建设技术要点 2002 年修订版》,再根据目前建设住宅的平均建筑面积参数,确定建筑面积 100m<sup>2</sup> 为宜。

② 确定照度标准:《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)对住宅建筑内照度标准作了规定,详见表 1.2-1。

首先我们算出居室内照明灯具的光通量,然后通过光通量可以查表得出光源容量,将各居室的容量相加,便可得出一户的总照明灯具容量。

表 1.2-1 住宅建筑照明的照度标准值

类 别		参考平面 及其高度	照度标准值 (lx)		
			低	中	高
起居室、 卧室	一般活动区	0.75m 水平面	20	30	50
	书写、阅读	0.75m 水平面	150	200	300
	床头阅读	0.75m 水平面	75	100	150
	精细作业	0.75m 水平面	200	300	500
餐厅或方厅、厨房		0.75m 水平面	20	30	50
卫 生 间		0.75m 水平面	10	15	20
楼 梯 间		地面	5	10	15

计算过程不再一一罗列，最后的计算结果为居室内照明容量约为 300W。

(3) 户内家用电器负荷

住宅内家用电器是住宅的主要负荷。计算家用电器负荷需引入“普及率”及“家电分类”的概念。

家用电器“普及率”是标志着某类家电进入家庭的程度，当前的家电“普及率”可以反映出居民的生活水平，决定了居民用电负荷。而对“普及率”发展速度的分析，使我们对居民用电负荷发展具有前瞻性。

“家电分类”则是与居民生活方式有关，按现有“普及率”指标，并对未来发展作出预测的基础上得出的。家电共分为三类：Ⅰ类电器具有低普及率，属于豪华或高投入型的电器，如洗碗机、烘干洗衣机等；Ⅱ类电器具有中普及率，属于舒适型的家电，给人们的日常生活带来方便，如吸尘器等；Ⅲ类电器具有极高的普及率，可以说每户必备，如电视机、电冰箱等。家用电器负荷的计算公式与一般需用系数法不同，它引入了“普及率”这样一个参数

$$\sum P_j = K_{jIII} K_{xIII} \sum P_{eIII} + K_{jII} K_{xII} \sum P_{eII} + K_{jI} K_{xI} \sum P_{eI}$$

式中， $\sum P_j$  为综合计算功率，W； $K_{jIII(II,I)}$  为Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ类家用电器的计算普及率； $K_{xIII(II,I)}$  为Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ类家用电器的计算需用系数； $\sum P_{eIII(II,I)}$  为Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ类家用电器的设备标称容量之和，W。

这个计算方法，对于高、中、低收入的居民来说都是一样的，只是不同收入水平决定了每类家用电器所包含的种类、功率，以及各类家用电器设定的普及率不同。

普通居民的户内总计算负荷

$$\begin{aligned} \sum P_j &= K_{jIII} K_{xIII} \sum P_{eIII} + K_{jII} K_{xII} \sum P_{eII} + K_{jI} K_{xI} \sum P_{eI} \\ &= 1 \times 0.6 \times 5790W + 0.2 \times 0.5 \times 3780W + 0.1 \times 0 \times 9050W \\ &= 3852W \end{aligned}$$

为了便于参考，表 1.2-2 中列了各类电量（按 75~80m<sup>2</sup> 建筑面积考虑）。

表 1.2-2 各类电量

项目名称	容量 (W)	台数 (套)	分 类	备 注
照明	200	1	Ⅲ	
彩色电视机	100	2	Ⅲ	
音响	200	1	Ⅲ	
电冰箱	100	1	Ⅲ	
洗衣机	150	1	Ⅲ	
电风扇	40	2	Ⅲ	
电熨斗	1000	1	Ⅲ	
小食品机	300		Ⅲ	
电微波炉	900	1	Ⅲ	

续表

项目名称	容量 (W)	台数 (套)	分 类	备 注
排气扇	250	3	Ⅲ	含排油烟机
录像机	80	1	Ⅲ	
其他电器	300	1	Ⅲ	
计算机	200	1	Ⅲ	含打印机
空调机	750	2	Ⅲ	
电饭锅	800	1	Ⅱ	
电水壶	900	1	Ⅱ	
电洗碗机	1000	1	Ⅱ	
电烤箱	1000	1	Ⅱ	
电淋浴器	1000	1	Ⅱ	
电化妆器	2000	1	Ⅱ	
电热洗衣机	3500	1	I	
电取暖器	2000	2	I	
电红外医疗	1000	1	I	

(4) 公共区照明用电负荷

公共区照明含有几部分：一是经常有人员来往的地方，如楼梯间、电梯前室、走道等；二是如人防、水泵房、设备层等公共设施所在场所；三是楼内的疏散照明及事故照明。场所不同，所以选用灯具、光源不同，灯具控制方式不同，因此不同的公共区照明会有不同的需用系数。

(5) 公共区动力用电负荷

一是高层住宅楼内的电梯负荷（受建筑物及电梯本身的参数，以及运行条件影响）；二是楼内的给、排水及通风设备负荷（排污泵、生活水泵等）；三是住宅供暖设备负荷。经计算及实测统计，公共区照明及动力设备负荷分摊到住宅约 3W/m<sup>2</sup>。

综合以上居住建筑户内户外的各种负荷，在一般居民标准条件下，居住建筑每户（三室二厅，建筑面积约 100m<sup>2</sup>）指标在 4kW 为宜。

2.3 建筑电气照明系统

2.3.1 建筑电气照明是关系国计民生的大事

随着人民生活水平的提高，建筑能耗增长迅猛。然而我国的能源形势是相当严峻的，目前我国已成为世界上第三大能源生产国和第二大能源消费国。所以降低建筑能耗，实现可持续发展，是唯一可行之路。建筑能耗指建筑使用能耗，包括采暖、空调、热水供应、照明、炊事、家用电器等方面的能耗，而照明节能是建筑节能的重要组成部分。据统计，2005 年，我国全社会的总用电量约为 24 000 亿 kW·h，照明用电量约为 3000 亿 kW·h，且每年以 13%~14% 的速度递增。预计到 2010 年，照明用电量将超过 5000 亿 kW·h，新增照明用电 2000 亿 kW·h。若要完成《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》要求节能 20% 的目标，就意味着到 2010 年，照明要减少用电 1000 亿 kW·h。为了实现这一目标，必须采取相应措施，这些措施包括：充分利用天然光，合理选用光源、灯具及附件，采用照明智能控制系统等方法。照明工程更是从过去的光源单一、光源和灯具效率低的状态中走向了更广阔的前景。目前在建筑中所采用的光源，有多种品种可供选择，光源朝着发光效率高、光色好、显色指数高方向发展，灯具也在不断提高其效率和配光形式，以利于各种不同场合的应用。光源的附件，例如用于荧光灯的镇流器，从过去的普通电感式镇流器发展到节能型电



感镇流器、电子镇流器,而且针对谐波分量的大小,生产出低谐波电子镇流器。众多的光源、附件和灯具,能满足设计人员的各种选择和设计,并充分满足各类建筑、各种场所对照明的要求。不管是室内的工作照明还是装饰照明,不管是道路和庭院的室外照明还是建筑物的泛光照明,无一不显示出照明技术的发展给建筑照明带来的方便和好处。

### 2.3.2 智能照明控制系统

采用智能照明控制系统,可以使照明系统工作在全自动状态,系统将按先设定的若干基本状态进行工作,这些状态会按预先设定的时间相互自动地切换。例如,当一个工作日结束后,系统将自动进入晚上的工作状态,自动并极其缓慢地调暗各区域的灯光,同时系统的移动探测功能也将自动生效,将无人区域的灯自动关闭,并将有人区域的灯光调至最合适的亮度。此外,还可以通过编程随意改变各区域的光照度,以适应各种场合的不同场景要求。智能照明可将照度自动调整到工作最合适的水平。例如,在靠近窗户等自然采光较好的场所,系统会很好地利用自然光照明,调节到最合适的水平。当天气发生变化时,系统仍能自动将照度调节到最合适的水平。总之,无论在什么场所或天气如何变化,系统均能保证室内照度维持在预先设定的水平。传统照明系统中,配有传统镇流器的日光灯以 100Hz 的频率闪动,这种频闪使工作人员头脑发胀、眼睛疲劳,降低了工作效率。而智能照明系统中的可调光电子镇流器则工作在很高频率(40~70kHz),不仅克服了频闪,而且消除了启辉时的亮度不稳定,在为人们提供健康、舒适环境的同时,也提高了工作效率。智能照明控制系统使用了先进的电力电子技术,能对大多数灯具(包括白炽灯、荧光灯,配以特殊镇流器的钠灯、水银灯、霓虹灯等)进行智能调光。当室外光较强时,室内照度自动调暗,室外光较弱时,室内照度则自动调亮,使室内的照度始终保持在恒定值附近,从而能够充分利用自然光实现节能的目的。除此之外,智能照明的管理系统采用设置照明工作状态等方式,通过智能化管理实现节能。智能照明控制系统将普通照明人为地开与关转换成了智能化管理,不仅使建筑的管理者能将其高素质的管理意识运用于照明控制系统中去,而且将大大减少建筑的运行维护费用,并带来较大的投资回报。

## 2.4 建筑设备监控系统

### 2.4.1 建筑设备监控系统是智能建筑或建筑智能化系统中的一个主要系统

“楼宇自动化系统”BAS (Building Automation System) 或“楼宇自控系统”,对建筑物或建筑群内的空调与通风、供配电、照明、给排水、热源与热交换、冷冻和冷却水及电梯和自动扶梯等系统的以集中管理、监视、分散控制为目的构成的综合监控与管理系统。

建筑设备监控系统为用户提供一个安全、高效、节能、舒适、温馨的环境。

建筑设备监控系统由计算机控制系统、控制网络和相应的系统软件及应用软件组成。

### 2.4.2 “主动”状的理论

为了把实践与理论结合起来,建筑设备监控系统可以参照“主动”状态的理论来进行设计。

#### (1) 建筑工程供配电的“主动”状态

幢现代化的建筑大厦中,有相当多的用电设备在工作。从宏观上看用电设备的正常工作,必须有两个条件:第一个条件是通过输电配电系统,将电能送到用电设备的电力

输入端上,主要是满足它的功率要求;第二个条件是通过测量控制系统,准确地控制它的工作方式(如起动,加速,运行,减速,停止等等),并满足加工对象的技术参数的要求。前者是以传输电能为目的;后者则是依附于电能的存在,并对电能进行有效的控制为目的。智能化系统的测量控制系统包含有传感器(如温度,压力,位移,电量等等),计算智能单元,控制输出单元及人机对话所需要的硬件和软件;控制电路是数据量传输,是人机对话的中间媒介。这两部分才能组成一个完善的供配电网。

目前,在建筑大厦中一般供配电网都是处在“被动”状态,即用电设备的工作方式仅仅由用电设备自身的工作指令所决定,而与电力网的状态没有关系。如生活水箱缺水,由水箱的水位指示器发出指令,起动生活用水泵,向水箱注水,水箱注满,水泵停止工作。它的工作方式中并没有介入配电网的状态指令,供配电网处在一个完全“被动”的状态。用电设备工作就供电,用电设备停止送电,仅此而已,使整个供配电网处在一个无序的工作之中。把上述“被动”状态的供配电网绘成框图如图 1.2-2 所示。

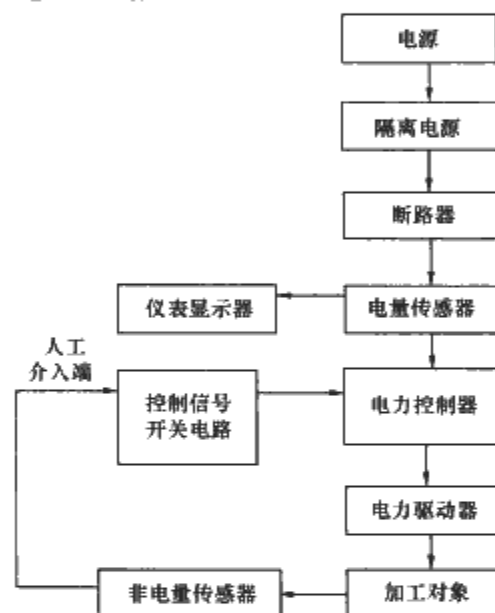


图 1.2-2 供配电网“被动”  
状态用电单元逻辑框图

显然,“被动”状态的供配电网存在着如下缺点:

1) 安全性低。电力系统“被动”状态的供配电网的保护主要是利用断路器的速断和过电流来实现的。完全靠人工进行电力负荷的调节,它的调节带有一定的盲目性,特别是达到速断和过电流整定值的边界条件时,这种盲目性就会带来两种结果,一个是超过保护整定值而断电,或使系统留有过渡的余量使系统低负荷运行。在非正常状态时(部分电源失电或电网发生故障),这种安全性低的危害就得更突出了。

2) 供配电网的投资大、效率低。建筑物内的各类负荷各行其是,处于“无序”状态。在实际运行中就会出现各类负荷的尖峰叠加现象。为了满足最大负荷出现的可能,供配电网在设计中将留有的裕度过量,使电网设备投资大、效率低。

3) 运行费率高。新颁布执行的商业电价(分高峰、低谷电价)是促使电网高效运行的重要手段,是一项重要的节电措施。但在电网中没有中央电脑的统一指挥和控制,没有一套完整的电网自诊断系统,没有一个良好的软件分析系统,要到达平峰填谷的高效,节能的综合平衡控制是完全不可能的。那么“商业电价”的作用仅只作为计费标准,而它的“促进节电”的功效只能表现得微乎其微。

### (2) “主动”状态的供电网

“主动”状态的供电网则不然,它需要在“被动”状态的供电网上增加一个完善的智能化系统。也就是说,用电设备的工作方式不仅由用电设备的工作指令所决定,而且要由电网的综合指令所决定。这个电网的综合指令是在自我诊断后,根据软件设置的程序运算加以信息综合再发出动作指令。它使用网和电力设备调节的加工对象参量之间构成了闭环调节系统。这个系统简单看可以分成两个层次:一个是用电设备的自身调节系统;而另一个则是设在建筑大厦电力中心的高一级的电力综合调节系统(见图1.2-3)。

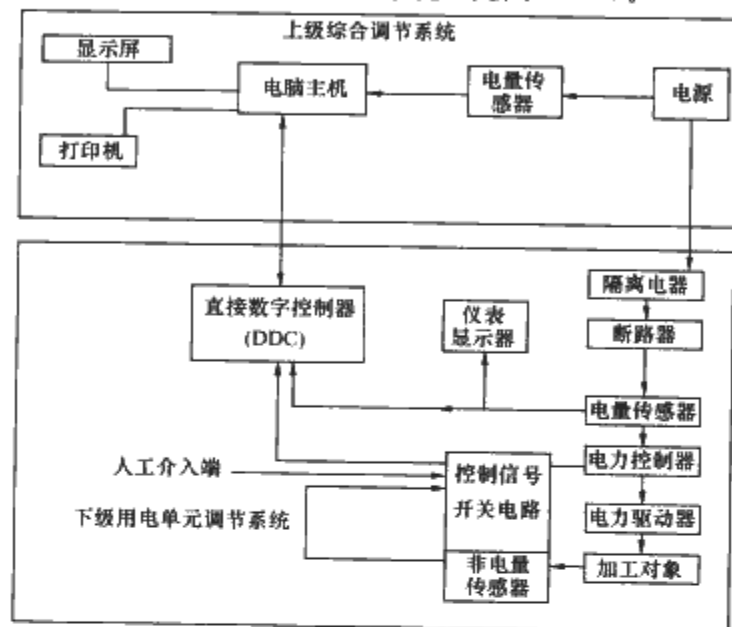


图 1.2-3 供电网“主动”  
状态用电单元逻辑框图

### (3) “主动”供电网系统设计原则

1) 合理地进行负荷计算和分配。电力负荷计算是供电基础,是设计配电系统的基本条件。在进行负荷计算时,既要有依据,又要留有裕度。节能不是不用电,而是要以保证充分用电为基础,使电能获得最大的效益。单项裕度要大,综合裕度要因地制宜。系统的分配要合理,要使电网能高效运行,又要便于控制。

2) 按负荷重要性分成数个等级。负荷等级是进行综合控制的基础。负荷的控制原则是低级让高级,高级优先。当然,这个分级首先要符合国家的各类设计规范。同时,还要看到这个等级是相对的,又是动态可变的。

3) 要有对非重要电力负荷控制及调节功能的电力控制器。

4) 高效、准确、可靠的测量控制网络。

①能对用电设备的工艺对象的物理参量加以监测。建筑大厦的主要建筑智能化系统都是以其工艺对象的物理参量为控制的出发点。如光的照度,空调室的温度、湿度,汽车库的二氧化碳含量,水箱的储水量,其参照坐标及时间参量等。

②能对电力网的各种电量进行实时监测。特别是对电网及设备安全运行有关的参数,更要实时传输到计算机中心,并以此作为电网调节控制软件设计的依据。

③分布式或集散式结构的计算机控制系统。该系统是整个测量控制电路的核心,所有物理参量传感信号及电量传感器信号都输入到计算机中心,而计算机输出的控制信号都遵循软件的要求进行运作。只有采用了集散式或分布式系统,“主动”状态的应用才有了可能。集中式系统则只适用于小面积、短距离的建筑工程,有相当大的局限性。

④有一个便于应用的软件。

## 2.5 建筑消防系统

火灾自动报警系统是人们为了及早发现和通报火灾,并及时采取有效措施控制引导人员疏散和扑灭火灾,而设置在建筑物中或其他场所的一种自动消防设施。随着我国经济建设的迅速发展,人民生活水平的不断提高,城市用地日益紧张,促使建筑物正朝着高层化、密集化方向发展。高层民用建筑的装修用料和方式也越趋多样化,并随着用电负荷的加大,对火灾自动报警系统设计提出了更高、更严格的要求。为确保人民生命财产的安全,火灾自动报警系统设计已成为高层民用建筑设计中最重要的设计内容之一。

火灾自动报警系统一般分三种设计形式:区域火灾自动报警系统、集中火灾自动报警系统和控制中心报警系统。智能建筑中的火灾自动报警系统的设计要点是:根据被保护对象发生火灾时燃烧的特点确定火灾类型;根据所需防护面积部位,按照火灾探测器的总数和其他报警装置(如手动报警装置)数量确定火灾报警控制器的总容量;按划分的报警区域设置区域报警控制器;根据消防设备确定联动控制方式;按防火灭火要求确定报警和联动的逻辑关系;最后还要考虑火灾自动报警系统与智能建筑的适应性。

由于火灾自动报警系统的特殊地位,使得它在布线安装方面有别于智能建筑中其他控制系统。对线缆的选型和布线方式不仅要满足自动报警装置自身的技术条件,如其报警传输线大多数要求采用双绞线等,而且要满足一定的机械强度,要采取穿管保护、暗敷或阻燃措施,与其他低压系统电缆竖井分开布设,再者要使其传输网络不与其他传输网络共用。从智能建筑的概念讲,火灾自动报警系统及其联动控制应当属于建筑设备自动化系统范畴,目前火灾自动报警系统存在特殊的管理要求,其报警线、联动线、通信线基本自成体系,与智能建筑中综合布线系统有相当差异,但就智能建筑的发展和火灾自动报警系统日趋成熟,二者在应用上的结合将越来越密切。关键在于智能建筑中设计选配火灾自动报警系统时,一定要考虑二者在连接界面上的适配性,使它们在安装使用、运行以最好的方式结合起来。

## 2.6 智能化系统集成技术

在20世纪70年代末其主要是语音通信的电话系统和简单的广播扩声系统,进入到20世纪80年代,随着共用电视天线、火灾自动报警系统及建筑设备监控系统的应用,弱电系统的内容越来越多。尤其是进入到20世纪90年代中期,综合布线技术在建筑中的应用,弱电系统的设计内容从当初的几个系统逐渐扩展到十几个子系统,这些系统包括:建筑设备监控系统、综合布线系统、通信自动化系统、有线电视系统、广播系统、安全防范系统、火灾自动报警及联动系统和电力自动监控系统等。

### 2.6.1 建筑设备监控系统融合了现代计算机技术、网络通信技术、自动控制技术、数据库管理技术以及软件技术

通过中央监控系统的计算机网络,将各层的控制器、现场传感器、执行器及远程通信设备进行联网,共同实现集中管理、分散控制的综合监控及管理功能。建筑设备监控系统的总体目标是将建筑内的建筑设备管理与控制系统(HVAC、给排水系统、供配电系统、照明系统等)进行分散控制、集中监视管理,从而提供一个舒适的工作环境,通过优化控制提高管理水平,从而达到节约能源和人工成本,



并能方便实现物业管理自动化。

20世纪80年代主要采用计算机集中监控的方式,由于可靠性较差,运行速度较慢,90年代以后已经很少采用,取而代之的是集散式控制方式。在90年代末,随着计算机技术、控制技术、网络与通信技术的发展和结合,建筑设备监控技术得到了迅速发展,突出表现在:

20世纪80年代末期智能建筑开始在我国出现,在国内经历了近20年的发展历程,大致可分为两个阶段:第一阶段是从20世纪80年代末期至90年代中期,为摸索和实践阶段,这一阶段在智能建筑的概念、设计理念、建设标准等方面的认识还较为模糊;第二阶段是20世纪90年代中末期至今,为大规模的建设和高速发展阶段,经过第一阶段近10年的实践应用,行业中和社会上对智能建筑的认识逐渐趋于清晰,从早期的较为盲目到回归理性、客观。与其相对应的建筑智能化技术及其应用也取得了长足的发展,有关智能建筑的设计、施工、验收规范和相关的法规逐步得到建立和健全。到20世纪90年代末期,国内智能建筑的建设已逐步走上健康、有序的发展轨道。进入21世纪,随着社会信息化的发展,建筑智能化系统已成为许多建筑物中不可缺少的基础设施,智能建筑的设计、系统集成商队伍不断扩大,已发展成为建筑行业中的一股新兴力量,与其相配套的产品制造行业也向国产化和产业化方向发展,并赋予了建筑全新的概念。

20世纪90年代受国际智能住宅理念的影响,建筑智能化技术逐渐延伸到住宅小区,最初在我国沿海少数经济较为发达的城市取得成效。建筑智能化技术开始从公共建筑向住宅和居住小区发展,建筑智能化技术迅速向小区智能化延伸,已成为智能建筑发展的重要市场。从公共建筑的智能化到住宅的智能化,这是市场的需求,也是实际发展的需要。数字社区进一步加强了网络的功能,具有完全的局域网和广域网、国际互联网宽带接入。通过完备的网络可以实现社区机电设备和家庭电器的自动化、智能化监控,安防系统的自动化、智能化监控。数字社区应用现代传感技术、数字信息处理技术、数字通信技术、计算机技术、多媒体技术和网络技术,加快了信息传播的速度,提高了信息采集、传输、处理、显示的性能,增强了安全性。数字社区提高了智能化系统的集成程度,实现了信息和资源的充分共享,提高了系统的优化程度。数字社区是数字城市的单元节点,数字社区的建设为数字城市创造了条件,为电子政务、电子商务、电子商务物流等技术的应用打下了基础。先进技术的推进及应用是社会发展的动力。采用先进技术是建筑电气设计人员的职责。先进技术的采用要遵循的原则是:先进性与现实性的平衡,先进技术的实施可靠性,对先进技术的全面而深刻的认识,及先进技术的经济可行性。智能建筑在我国建筑行业的迅速发展,对于改造提升传统建筑行业和改善人民的生活水平起到了积极作用。

进入21世纪后,随着现代化的发展,人类对信息在现代社会中的重要性已经达到共识。信息已不仅是一种时尚,它就像空气、阳光和水一样,为人们工作、学习和生活所必需。它在当今生活中激励着各行各业的发展和经济的增长,并丰富着人们的生活。借助网络和飞速发展的信息技术,人们可以足不出户而纵览全球。电子商务、远程教育、家庭网上办公、网上购物、网上旅游聊天、社区智能系统等,以超乎想象的速度改变了人的生产、生活方式,更深刻地影响到人类的思维模式和生存状态。

## 2.6.2 在智能建筑内的信息资源共享

每个子系统,一般来说均由各自的网络连接起来,在各自的操作站下完成预期的工作,但尚未达到信息资源共享。为了达到管理的方便快捷,各子系统之间的信息资源共享,应进行系统集成。

在系统集成过程中,集成所选择的系统平台不同,网络结构不同,所集成的子系统范围不同,有不同的集成模式。随着计算机技术、网络技术、控制技术、显示技术的发展,使建筑设备监控系统通过计算机网络与其他子系统相连,由此产生以建筑设备监控系统为主的系统集成方式。还有以各自系统平等进行集成的方式,建立系统集成管理网络,将各子系统视为下层现场控制网并以平等的方式集成。各子系统的实时数据,通过开放的工业标准接口,转换成统一的格式存储在系统集成的数据库或服务器中,系统集成管理网络通过程序对各子系统实现统一管理、监控及信息交换。

系统集成,利用开放的协议以达到各相关子系统之间的联动控制和信息共享,提高了管理效率,也提高了处理突发事件的能力,并达到了节能和节省人力的目的,这就是建筑设备管理系统(BMS)。系统集成不是目的,而是提升建筑使用功能和提高管理效率的技术手段,集成的内容不是多多益善,而应根据使用和管理需要,在技术成熟、系统可靠、投资合理、管理高效等前提下,按需集成。

## 2.6.3 综合布线系统的意义

综合布线系统是一套完善可靠的支持语音、数据、多媒体传输的开放式的结构,作为通信自动化系统和办公自动化系统的支持平台,满足通信和办公自动化的需求。系统能支持综合信息(语音、数据、多媒体)传输和连接,实现多种设备配线的兼容,综合布线系统能支持所有的数据处理(计算机)的供应商的产品,支持各种计算机网络的高速和低速的数据通信,可以传输所有标准的模拟和数字的语音信号,具有传输ISDN的功能,可以传输模拟图像、数字图像以及会议电视等的多媒体信号。完全能承担建筑内的信息通信设备与外部的信息通信网络相连。

综合布线是智能建筑中数据、语音以及多媒体通信的基础平台,自该项技术进入我国市场以来,由于其优异的性能,给国内的智能建筑市场带来了一种新理念、新技术,并立即在建筑行业引起了巨大的反响,被各类智能建筑所广泛采用。为了适应网络传输带宽和速率的发展,综合布线新产品相继问世,从最初的三类线、五类线到六类线,甚至出现了超前于标准的七类布线系统产品,以满足千兆网的需求。随着网络传输速率的提升,为适应其发展的万兆光纤网也已投入市场,新型的多模和单模光纤将作为良好的传输介质得到广泛的应用。铜缆从三类到五类、超五类、六类甚至更高类别,从铜缆发展到光缆,技术和产品不断更新,充分体现了其发展的迅速以及智能建筑应用新技术的广阔前景。

## 2.6.4 通信自动化

在通信自动化系统中,程控自动数字交换机起着重要的作用。随着通信技术的发展,现今的PABX应将传统的语音通信、语音信箱、多方电话会议、IP技术、ISDN(B-ISDN)应用等当今最先进的通信技术融会在一起,向用户提供全新的通信服务。通信自动化系统中的会议电视系统,采用模块化结构设计,全数字化音频技术,具有全功能、高智能化、高清晰音质、方便扩展和数据传递保密等优点。可实现发言演讲、会议讨论、会议录音等各种国际性会议功能。其中主席设备具有最高优先权,可控制会议进程。中央控制设备具有控制多台发言设备(主席机、代表机)功能。

通过 ISDN 传输[3(2B+D)], 建筑外根据业务需要, 可与有业务关系的相关单位经过数字网(卫星通信、DDN 等)与会议电视设备连接。该系统可通过各种通信网络(如 ATM、以太网、DDN、PSTN、ISDN、卫星等), 以良好的实时性和交互性, 实现各会场之间的音视频信息交流, 同时各会场可通过该系统自由讨论, 并可在同一个电子“白板”上阅读书写信息, 共享应用软件(共同修改文稿或图纸)。并且可进行对讲方式(两会场交谈, 其余会场听讲)和座谈方式(所有会场都参加会谈, 画面由会议主持人根据会议需要动态分配)等。会议电视系统可满足国际会议、新闻发布会、记者招待会、展品展示会、学术交流会、远程点对点或多点会议及教学的需要。卫星通信是利用人造地球卫星作为中继站的 2 个或多个地面站相互之间的无线通信。通信方式多种多样, 可以实现点对点, 一点对多点(广播式), 多点对一点(数据收集)通信。卫星通信容量大, 传送业务多, 既可以传输数字信号, 也可以传送模拟信号; 既可以传输时分多址信号, 又可以传输频分多址信号。建立卫星通信系统, 进行高速数据传输、图像传输、综合数据与语音通信、移动数据通信、计算机网络连接等综合业务, 与 DDN 数字数据网互为备份, 可以保证数据通信的不间断性、可靠性。

### 2.6.5 通信网络

智能建筑中的通信网络包括计算机网络、双向有线电视传输网络和电话通信网络等, 前两者作为智能建筑宽带骨干网集中了几乎全部的信息应用和信息管理资源, 连接了几乎全部的用户站点。在 20 世纪 90 年代中期以前, 各种类型的网络均有一定的市场和用户, 但在 90 年代后期, 以太网以其投资合理、布线灵活、性能优越、使用维护方便等优点, 逐渐在各种网络通信技术中独占鳌头。以太网的传输速率, 已从最初的 10Mbit/s、100Mbit/s 发展到 1Gbit/s、10Gbit/s 甚至更高的速率。智能建筑的电话网, 目前除用于语音通信外, 还可兼备数据、图像等的窄带数据通信, 使人们可以通过通信网络, 实现电视会议、电话会议等功能。接入网技术是智能建筑与外部网络连接的关键, 它使有形的世界变得越来越小, 使人们的工作、生活发生了很大的变化。智能建筑接入城域网或 Internet, 要求接入的带宽越来越高, 以满足用户数据通信日益增长的需求。在有线网络发展的同时, 无线网络以其接入的灵活性, 开始进入快速发展阶段。从最初的 11M 到 2003 年通过 54M, 如今又发展到百兆以上, 它为人们的移动上网提供了极大的便利, 同时也在许多领域蕴藏着巨大的发展潜力, 正成为网络发展的潮流。

### 2.6.6 有线电视系统

有线电视系统是能为人们提供电视节目、各类信息传递和服务的良好媒介, 是人们日常生活中不可缺少的一部分, 缩写为 CATV。CATV 系统是 20 世纪 40 年代出现的一种电视接收系统, 它是多台电视接收机共用一套天线的设备。公共天线将接收来的电视信号先经过适当处理(如放大、混合、频道变换等), 然后由专用部件将信号合理地分配给各电视接收机。由于系统各部件之间采用了大量的同轴电缆作为信号传输线, 因而 CATV 系统又叫电缆电视系统, 也就是目前城市正在发展的有线电视。由于通信技术的迅速发展, CATV 系统不但能接收电视塔发射的电视节目, 还可能通过卫星地面站接收卫星传播的电视节目。有了 CATV 系统, 电视图像就不会因高山或高层建筑的遮挡或反射, 出现重影或雪花干扰。人们不但可以看好电视节目, 还可以利用这套设备来自已播放节目(如电视教学)以及从事传真通信和各种信息的传递工作。由于电视接收机的普及和高层建

筑的增多, CATV 系统已成为人们生活中不可缺少的服务设施。近年来, 我国有线电视系统的发展极为迅速, 有线电视节目容量日益增多, 传输距离和覆盖面日益增大, 系统功能日趋完善。

## 3 智能建筑发展

在 21 世纪的智能建筑将广泛应用高新技术。网络技术, 基于目前 Web 的 Internet 网络技术正成为建筑物或企业内部的信息主干网络的主流形式。Internet/Internet 将成为人们的生活方式开创一个全新的信息世界。控制网络技术体系结构的开放性与网络互联方向发展。开放性控制网络具有标准化、可扩展性和可操作性。在计算机互联网络技术的推动下, 控制网络要满足开放性的要求, 就必须走网络互联的发展道路, 因而从现场控制总线走向控制网络是一个必然趋势。

随着半导体芯片技术的不断发展, 智能卡体积小、存储容量大、携带与使用方便、安全性与可靠性好、可脱机运行、一卡多用的优越性能越来越突出。目前, 智能卡系统进行智能建筑的保安门禁和巡逻管理、停车场收费管理、物业收费与管理、商业消费与电子钱包、人事与考勤管理已经越来越普遍。

可视化技术, 在智能建筑内的数字视频点播和会议电视, 均是可视化技术向建筑物内的网络桌面系统提供视像的传输、交互和服务的功能。

流动办公技术, 利用网络技术、通信技术、可视化技术, 以及家庭智能化技术, 向异地或移动的办公人员提供一个虚拟技术办公环境。

移动办公技术是多项现代科技的综合。应用移动办公技术可以使在家或旅行途中的办公人员如同在自己的办公室里一样, 可以随时随地进入公司的办公流程, 及时处理文件和资料; 参加公司召开的电视会议, 参与发言和讨论; 甚至通过家庭智能化技术, 远程操作办公室内的办公器材或遥控家中的电器设备。

家庭智能化技术通过智能化技术实现家庭中各种与信息相关的通信设备、家用电器和家庭保安装置通过家庭总线技术(HBS)连接到一个家庭智能化系统上, 进行集中的或异地的监视、控制和家庭事务性管理, 并保持这些家庭设施与住宅环境的和谐与协调。一个由家庭智能化系统构成的高度安全性、生活舒适性和通信的与自动化居住空间, 将可以满足 21 世纪信息社会中人们追求快节奏的工作方式, 保持完全开放的生活环境的要求。

无线局域网技术, 也称计算机无线组网技术, 利用微波、激光、红外线作为传输媒介, 摆脱了线缆的束缚。无线局域网技术既可以节省铺设线缆的昂贵开支, 避免了线缆端接的不可靠性, 同时又可以满足计算机在一定范围内可以任意更换地理位置的需要, 特别是无线局域网与移动通信和卫星通信的结合, 将发挥的作用。

数据卫星通信技术, 数据卫星又称为小型数据卫星站(VSAT), VSAT 的出现, 将通信终端延伸到办公室和家庭, 其发展的本质是将通信卫星技术引向多功能、智能化、设备小型化, 同时综合应用卫星多波束覆盖、星载处理技术、地面蜂窝移动通信和计算机软件技术。在 21 世纪, 数据卫星发展将会产生新的飞跃。双向电视传输技术, 可以实现电视信号由前端向用户端自上而下的正向发送(下行传输), 同时也可以实现信号由用户端自下而上的反向发送(上行传输)。下行传输技术信号主要是电视信号和数据信

息，上行传输技术信号可以是计算机终端的数据信息，或控制键盘产生的控制或状态信号，这些信号转换成易于在双向电视传输技术信号形式，并通过电缆调制器、机顶盒实现的交互。目前，双向电视传输技术不但可以保证高质量的电视节目画面，同时也能将智能建筑内的传统的 CCTV 有线电视传输线路，改造为可以提供交互数据传输技术宽带高速网

络，为今后在智能建筑内实施“三网合一”（即电视网、电话网、计算机网）的综合传输模式提供预留网络接口。随着现代高新技术的发展和广泛应用，一些尖端科技也将在智能大厦领域大显身手，例如，激光通信技术、机器人技术、远程教育技术、虚拟社区技术、远程医疗技术等都将在智能大厦中发挥重要作用。

中国电气工程大典

CHINA ELECTRICAL ENGINEERING CANON

第14卷  
建筑电气工程

## 第2篇 建筑电气的规范及标准

主 编：杨维迅 孙成群 孙 兰



建筑电气工程作为工程建设的一部分,其质量和安全是关系国际民生的大事。全面、正确地执行我国现行的技术标准是确保工程质量的最基本、也是最重要的要求。为此,国家制定了一系列的法律、规程、规范、标准。1988年《中华人民共和国标准化法》(中华人民共和国主席令第11号)颁布,该法规定了中国的标准体制、标准化管理体制和运行机制。根据《中华人民共和国标准化法》(中华人民共和国主席令第11号)的规定,中国标准化工作实行统一管理、分工、分级管理相结合的管理体制。

## 1 法规

1) 由全国和地方(省、自治区、直辖市)人民代表大会制定并颁布执行的法律和各级政府主管部门颁布实施的规定、条例等统称为法规。

2) 有关建设方面的法规是从事建设活动的根本依据,是规范行业活动的保障。因此法规在其行政区划内都是必须执行的。

3) 法规通常制定的较为原则,有时还附有实施细则等。各级政府主管部门是根据法和其他有关规定,制定更具针对性和可操作性的规定、条例等。

4) 法规通常由颁布部门负责解释。

5) 电气工程师应掌握的法规如下:

- ①中华人民共和国电力法。
- ②中华人民共和国环境保护法。
- ③中华人民共和国招标投标法。
- ④中华人民共和国建筑法。
- ⑤中华人民共和国合同法。
- ⑥中华人民共和国节约能源法。
- ⑦中华人民共和国环境影响评价法。
- ⑧中华人民共和国质量法。
- ⑨中华人民共和国大气污染防治法。
- ⑩中华人民共和国环境噪声污染防治法。
- ⑪中华人民共和国标准化法。
- ⑫建设工程勘察设计市场管理规定。
- ⑬建设工程质量管理条例。
- ⑭建设工程安全生产管理条例。
- ⑮建筑施工企业安全生产许可证管理规定。
- ⑯实施工程建设强制性标准监督规定。
- ⑰建筑工程设计文件编制深度规定。
- ⑱建设项目环境保护管理条例。

## 2 工程建设标准化体系简介

### 2.1 标准的定义及其表达方式

#### (1) 标准的定义

标准是对重复性事物和概念所作的统一规定。它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。

#### (2) 我国工程建设标准

有三种表达形式:标准、规范和规程。

- 1) 标准:内容一般是基础性和方法性的技术要求。
- 2) 规范:内容一般是通用性和综合性的技术要求。
- 3) 规程:内容一般是专用性和操作性的技术要求。

### 2.2 标准的分级

按照标准的实施范围,我国工程建设标准分为四级,为

国家标准(协会标准)、行业标准、地方标准和企业标准。

1) 国家标准。它由国家标准化和工程建设标准化主管部门联合发布,在全国范围内实施。

2) 协会标准。它是根据国家主管部门的要求,由中国工程建设标准化协会发布,在全国范围内实施。它通常是国家标准的必要补充或发展。

3) 行业标准。它是由国家行业标准化主管部门发布,在全国某一行业内实施,同时报国家标准化主管部门备案。

4) 地方标准。它由地方(省、自治区、市)标准化主管部门发布,在某一地区范围内实施,同时报国家和行业标准化主管部门备案。

5) 企业标准。它由企业(或事业)单位制定,在本企业(或事业)单位内实施。企业产标准报当地标准化主管部门备案。

四级标准的编制原则是:低级标准提出的技术要求不得低于高一级的标准,可以提出更高的要求。即国家标准为最低标准,也可看作市场准入标准。低于国家标准的产品将被判为“伪劣产品”。

### 2.3 标准的分类

按照标准的法律属性,我国的技术标准分为强制性标准和推荐性标准两类。

1) 强制性标准。凡保障人身、财产安全、环保和公共利益等内容的标准,均属于强制性标准。它自发布后必须强制执行。

2) 推荐性标准。强制性标准以外的标准,均属于推荐性标准。它自发布后自愿采用。

3) 我国实行的是强制性标准与推荐性标准相结合的标准体制。其中,强制性标准具有法律属性,在规定的适用范围内必须执行;推荐性标准具有技术权威性,经合同或行政性文件确认采用后,在确认的范围内也具有法律属性。

4) 自2000年起,建设部开始发布《工程建设标准强制性条文》,对现行国家和行业标准中直接涉及安全、卫生、环保、公共利益等内容的强制性条文进行汇编,并通过施工图审查和竣工验收等重要环节必须严格贯彻执行。

### 2.4 标准的编号

我国标准的编号由标准代号、标准发布顺序号和标准发布年号三部分组成。

1) 国家标准编号:1991年以后,强制性标准代号采用GB,推荐性标准代号采用GB/T;发布顺序号大于50 000的为工程建设标准,小于50 000的为工业产品等标准。例如GB 50034—2004,GB/T 50326—2006(以前工程建设国家标准的代号采用GBJ)。

2) 协会标准编号:协会标准的代号一律采用CECS。例如CECS154:2003。

3) 行业标准编号:行业标准的代号随行业而不同。对“建筑工业”行业,强制性标准采用JG,推荐性标准采用JGJ/T;属于工程建设标准的,在行业代号后加字母J。例如JGJ/T 16—1992。另外,“城镇建设”行业标准代号为CJJ(CJJ/T)。

4) 地方标准编号:地方标准的代号随发布标准的省、市、自治区而不同。强制性标准代号采用“DB+地区行政区划代码的前两位数”,推荐性标准代号在斜线后加字母T;属于工程建设标准的,不少地区在DB后另加字母J。例如北京市DBJ 01—608—2002。

5) 企业标准代号为 QB (与轻工行业代号一样)。

(6) 当标准只作局部修改时,在标准编号后加(××××年版)。

## 2.5 选用标准、规范(程)时应注意的问题

1) 各级标准、规范(程)都由主管部门进行版本管理,必须选用有效版本才具有法律性。有关情况可向其主管部门咨询。

2) 认真阅读“总则”,搞清其适用范围和技术原则。

3) 对于综合性规范除本专业的章、节外,还应执行编写在其他专业的章节有关条文的内容。

4) 我国颁布的标准、规范(程),除强制性条文必须执行外,其他条文按其要求严格程度不同用词分为三级。

①表示很严格,非这样做不可的用词:正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。这种用词条文的内容,在工作中是必须执行的。

②表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

③表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

④表示有选择,在一定条件可以这样做的用词采用“可”。

5) 工作中遇到对一个问题几本现行标准均有要求,并且不一致时,通常以最新版本为准,必要时还应由政府主管部门批准。

6) 对标准、规范(程)的条文不理解或有异议时,通常由标准、规范(程)主编单位负责解释。

7) 工作中遇到国内现行标准、规范(程)不适用或无明确规定时,可以采用国际或发达国家的标准;也可以根据现行标准的技术原则和精神提出处理方法,但要由政府有关主管部门批准。

8) 当甲方提出按国际或其他国家的标准时,要在合同中注明并报有关政府主管部门批准。

## 3 IEC 国际标准

随着经济全球化、贸易国际化以及科学技术的迅速发展,国际标准越来越受到世界各国的重视,在世界经济、社会发展中发挥着越来越重要的作用。推行国际标准,有利于消除国际贸易中的技术壁垒,有利于促进技术进步,提高产品质量和效益,有利于促进国际经济技术交流与合作。

制定国际标准既要采用先进的科学技术和成功的实践经

验,又要征得利益相关方充分协商一致,还要考虑标准的时效性,以适应不同的市场需求,所以,制定国际标准必须遵守严格的工作程序。

国际电工委员会(IEC)的宗旨是:促进电工、电子工程领域中的标准化及有关事项(如认证)方面的国际合作,增进国家间的相互了解。为实现这一目的,IEC 出版包括国际标准在内的各种出版物,并希望各国家委员会在条件允许的情况下,在本国标准化工作中使用这些国际标准。

IEC 标准分为 IEC 国际标准、IEC 可公开提供的技术规范(IEC/PAS,简称公用规范)、IEC 技术规范(IEC/TS)、IEC 技术报告(IEC/TR)和工业技术协议(ITA)。

## 4 建筑电气工程建设标准体系

建筑电气工程建设标准体系分为基础标准、通用标准和专用标准三个层次。

### 4.1 基础标准

基础标准是指在某一专业范围内作为其他标准的基础并普遍使用,具有广泛指导意义的术语、符号、计量单位、图形、模数、基本分类、基本原则等的标准。基础标准分为术语标准与图形标准。

### 4.2 通用标准

通用标准是指针对某一类标准化对象制定的覆盖面较大的共性标准,它可作为制定专用标准的依据。通用标准分为设计标准、验收标准、评价标准。

### 4.3 专用标准

专用标准是指针对某一具体标准化对象或作为通用标准的补充、延伸制定的专项标准。设计专用标准分为电气、智能化、分类建筑三个部分。验收专用标准分为电气、智能化两个部分,评价专用标准为一个部分。

### 4.4 建筑电气工程建设标准体系表

#### (1) 基础标准

基础标准见表 2.2-1。

#### (2) 通用标准

通用标准见表 2.2-2。

#### (3) 专用标准

专用标准见表 2.2-3。

表 2.2-1 基础标准

体系编码	标准名称	现行标准	备 注
1.1 术语标准			
1.1.1	建筑电气术语标准		
1.2 图形标准			
1.2.1	建筑电气制图标准		2005 年前立项

表 2.2-2 通用标准

体系编码	标准名称	现行标准	备 注
2.1 建筑电气设计通用标准			
2.1.1	建筑电气设计文件编制标准		
2.1.2	民用建筑电气设计规范	JGJ 16—2008	
2.1.3	智能建筑设计标准	GB/T 50314—2006	



续表

体系编码	标准名称	现行标准	备 注
2.1.4	建筑电气工程节能设计标准		
2.2 建筑电气验收通用标准			
2.2.1	建筑电气工程施工质量验收规范	GB 50303—2002	
2.2.2	智能建筑工程质量验收规范	GB 50339—2003	2006 年立项修订
2.2.3	建筑电气工程节能验收规范		
2.3 建筑电气评价通用标准			
2.3.1	建筑电气工程节能评价标准		
2.3.2	建筑电气工程安全评价标准		
2.3.3	建筑智能化系统评价标准		

表 2.2-3

## 专用标准

体系编码	标准名称	现行标准	备 注
3.1 建筑电气设计专用标准			
3.1.1	民用建筑用电负荷设计标准		
3.1.2	10kV 及以下变电所设计规范	GB 50053—1994	2005 年前立项修订
3.1.3	供配电系统设计规范	GB 50052—1995	
3.1.4	低压配电设计规范	GB 50054—1995	
3.1.5	通用用电设备配电设计规范	GB 50055—1993	
3.1.6	电热设备电力装置设计规范	GB 50056—1993	
3.1.7	电力装置的继电保护和自动装置设计规范	GB 50062—1992	
3.1.8	电力装置的电气测量仪表装置设计规范	GBJ 63—1990	
3.1.9	并联电容器装置设计规范	GB 50227—1995	
3.1.10	继电保护及自动化装置柜(屏)技术规范		2005 年立项制定
3.1.11	民用建筑供电电源电磁兼容设计标准		
3.1.12	民用建筑自备应急电源设计规范		
3.1.13	变配电智能化系统设计规范		
3.1.14	建筑用电设备控制系统设计规范		
3.1.15	电力工程电缆设计规范	GB 50217—1994	
3.1.16	建筑照明设计标准	GB 50034—2004	
3.1.17	消防应急照明和疏散指示系统技术规范		2007 年立项制定
3.1.18	城市道路照明设计标准	CJJ 45—2006	
3.1.19	爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范	GB 50058—1992	2005 年前立项修订
3.1.20	建筑物防雷设计规范(2000 年版)	GB 50057—1994	2005 年立项修订
3.1.21	古建筑防雷技术规范		
3.1.22	建筑物电气装置接地系统设计规范		
3.1.23	风力发电应用设计规范		
3.1.24	太阳能发电应用设计规范		
3.1.25	太阳能照明设计规范		
3.1.26	天然光照明设计规范		
3.1.27	国家电气设备安全技术规范	GB 19517—2004	国家安全标准
3.1.28	防止静电事故通用导则	GB 12158—2006	
3.1.29	小功率电动机的安全要求	GB 12350—2000	国家安全标准
3.1.30	中小型旋转电机安全要求	GB 14711—2006	
3.1.31	建筑物电气装置 第 4 部分:安全防护第 41 章电击防护	GB 16895.21—2004	
3.1.32	建筑物电气装置 第 5-53 部分:电气设备的选择和安装—隔离、开关和控制设备第 534 节:过电压保护电器	GB 16895.22—2004	
3.1.33	中小功率柴油机噪声限值	GB 14097—1999	国家环保标准
3.1.34	电能质量 电压波动和闪变	GB 12326—2000	国家基础标准
3.1.35	低压开关设备和控制设备 第 1 部分:总则	GB 14048.1—2006	
3.1.36	建筑物电气装置 第 5-54 部分:电气设备的选择和安装 接地配置、保护导体和保护联结导体	GB 16895.3—2004	

续表

体系编码	标准名称	现行标准	备 注
3.1.37	不间断电源设备（UPS）第2部分：电磁兼容性（EMC）要求	GB 7260.2—2003	国家产品标准
3.1.38	家用及类似场所用过电流保护断路器 第1部分：用于交流的断路器	GB 10963.1—2005	
3.1.39	家用及类似场所用过电流保护断路器 第2部分：用于交流和直流的断路器	GB 10963.2—2003	
3.1.40	家用和类似用途的不带过电流保护的剩余电流动作断路器（RCB）第1部分：一般规则	GB 16916.1—2003	
3.1.41	家用和类似用途的带过电流保护的剩余电流动作断路器（RCBO）第1部分：一般规则	GB 16917.1—2003	
3.2 智能化设计专用标准			
3.2.1	通信接入系统设计规范		
3.2.2	电话交换系统设计规范		
3.2.3	综合布线系统工程设计规范	GB 50311—2007	
3.2.4	室内移动通信覆盖系统设计规范		
3.2.5	通信管道与通道工程设计规范	GB 50373—2006	
3.2.6	有线电视系统工程技术规范	GB 50200—1994	
3.2.7	公共广播系统设计规范		
3.2.8	厅堂扩声系统设计规范	GB 50371—2006	
3.2.9	电子会议系统设计规范		2007 年立项制定
3.2.10	信息引导及发布系统设计规范		
3.2.11	视频显示屏系统工程技术规范		2005 年立项制定
3.2.12	建筑设备监控系统设计规范		
3.2.13	火灾自动报警系统设计规范	GB 50116—1998	2006 年立项修订
3.2.14	消防通信指挥系统设计规范	GB 50313—2000	
3.2.15	安全防范工程技术规范	GB50348—2004	
3.2.16	入侵报警系统工程设计规范	GB 50394—2007	
3.2.17	视频安防监控系统工程设计规范	GB 50395—2007	
3.2.18	出入口控制系统工程设计规范	GB 50396—2007	
3.2.19	停车库（场）管理系统设计规范		
3.2.20	应急联动系统设计规范		
3.2.21	智能化系统机房工程设计规范		
3.2.22	电子计算机机房设计规范	GB 50174—1993	2005 年立项修订
3.2.23	电磁屏蔽室设计规范		2006 年立项制定
3.2.24	建筑物电子信息系统防雷技术规范	GB 50343—2004	2007 年立项修订
3.2.25	信息技术设备的安全	GB 4943—2001	国家安全标准
3.2.26	音频、视频及类似电子设备安全要求	GB 8898—2001	国家安全标准
3.2.27	离子感烟火探测器放射卫生防护标准	GB 16365—1996	国家卫生标准
3.2.28	电视和声音信号电缆分配系统 第2部分：设备的电磁兼容	GB 13836—2000	国家产品标准
3.2.29	电气火灾监控系统 第1部分：电气火灾监控设备	GB 14287.1—2005	
3.2.30	消防联动控制系统	GB 16806—2006	
3.3 分类建筑电气设计专用标准			
3.3.1	办公建筑电气设计规范		
3.3.2	金融建筑电气设计规范		
3.3.3	商业建筑电气设计规范		
3.3.4	旅馆建筑电气设计规范		
3.3.5	文化建筑电气设计规范		
3.3.6	博览建筑电气设计规范		
3.3.7	观演建筑电气设计规范		
3.3.8	娱乐休闲建筑电气设计规范		
3.3.9	体育建筑电气设计规范		
3.3.10	医疗建筑电气设计规范		
3.3.11	教育建筑电气设计规范		
3.3.12	交通建筑电气设计规范		2007 年立项制定
3.3.13	居住建筑电气设计规范		2007 年立项制定
3.4 建筑电气验收专用标准			
3.4.1	民用建筑自备应急电源验收规范		
3.4.2	电气装置安装工程 电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范	GBJ 148—1990	2006 年立项修订
3.4.3	电气装置安装工程 母线施工及验收规范	GBJ 149—1990	2006 年立项修订

续表

体系编码	标准名称	现行标准	备 注
3.4.4	电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范	GB 50254—1996	
3.4.5	电气装置安装工程 电缆线路施工及验收规范	GB 50168—2006	
3.4.6	电气装置安装工程 盘、柜及二次回路结线施工及验收规范	GB 50171—1992	
3.4.7	电气装置安装工程 蓄电池施工及验收规范	GB 50172—1992	
3.4.8	电气装置安装工程 电梯工程施工质量验收规范	GB 50310—2002	
3.4.9	电气装置安装工程 电力变流设备施工及验收规范	GB 50255—1996	
3.4.10	建筑用电设备控制系统验收规范		
3.4.11	建筑物电气装置接地系统验收规范		
3.4.12	电气装置安装工程 爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范	GB 50257—1996	
3.4.13	太阳能发电应用验收规范		
3.4.14	道路交通信号灯设置与安装规范	GB 14886—2006	国家管理标准
3.5 建筑智能化系统验收专用标准			
3.5.1	电话交换系统验收规范		
3.5.2	综合布线系统工程验收规范	GB 50312—2007	
3.5.3	通信管道工程施工及验收规范	GB 50374—2006	
3.5.4	建筑设备监控系统验收规范		
3.5.5	火灾自动报警系统施工及验收规范	GB 50166—2007	
3.5.6	消防通信指挥系统施工及验收规范	GB50401—2007	
3.5.7	视频显示屏系统工程测量规范		2006 年立项制定
3.5.8	智能化系统机房工程验收规范		
3.5.9	计算机机房施工及验收规范		2005 年立项制定
3.6 建筑电气评价专用标准			
3.6.1	民用建筑供电电源电磁兼容评价标准		
3.6.2	太阳能发电应用评价标准		
3.6.3	安全防范工程评价标准		
3.6.4	三相配电变压器能效限定值及节能评价	GB 20052—2006	国家基础标准
3.6.5	中小型三相异步电动机能效限定值及节能评价	GB 18613—2006	国家管理标准
3.6.6	管形荧光灯镇流器能效限定值及节能评价	GB 17896—1999	
3.6.7	普通照明用双端荧光灯能效限定值及能效等级	GB 19043—2003	
3.6.8	普通照明用自镇流荧光灯能效限定值及能效等级	GB 19044—2003	
3.6.9	高压钠灯能效限定值及能效等级	GB 19573—2004	
3.6.10	高压钠灯用镇流器能效限定值及节能评价	GB 19574—2004	
3.6.11	金属卤化物灯用镇流器能效限定值及能效等级	GB 20053—2006	

注 1. 备注栏里注明已立项制定修订的项目，批准部门为中华人民共和国建设部。  
2. 现行标准、备注栏均空格的项目为体系新立待报批制订的项目。  
3. 现行标准栏中，标准参照空缺者为待编规范。

5 常用国际标准和国外标准代号

常用国际标准和国外标准代号见表 2.2-4。

表 2.2-4 常见国际标准和国外标准代号

代 号	含 义
ISO	国际标准化组织
IEC	国际电工委员会
BIPM	国际计量局
CEE	国际电气设备合格认证委员会
CIE	国际照明委员会
ITU	国际电信组织
CISPR	国际无线电干扰特别委员会
CCIR	国际无线电咨询委员会
CCITT	国际电报电话咨询委员会
IAEA	国际原子能机构
ICAO	国际民航组织
ICS	国际海运委员会
UIT	国际铁路联盟
CIS	国际劳动安全与卫生情报中心
EN	欧洲标准化委员会标准
CE	欧洲共同体标准
CENEL	欧洲电气标准的协调委员会
NATO	北大西洋公约组织标准化机构标准
ASAC	亚洲标准咨询委员会

续表

代 号	含 义
ASMO	阿拉伯标准化与计量组织
ARSO	非洲地区标准组织
COPANT	泛美技术标准委员会
ANSI	美国国家标准
MS	美国军用标准
NFPA	美国防火协会
IEEE	美国电气电子工程师学会标准
NEMA	美国全国电气制造商协会标准
EIA	美国电子工业协会标准
ATIS	美国信息技术协会标准
UL	美国保险商实验室标准
ASTM	美国试验与材料协会标准
AEIC	爱迪生照明公司协会标准
CAN	加拿大国家标准
CSA	加拿大标准协会
ГОСТ	前苏联国家标准
BS	英国标准
DEF	英国国防标准
IEE	英国电气工程师协会
DIN	德国国家标准

续表

代 号	含 义
VDE	德国电气工程师协会标准
VDI	德国工程师 协会标准
NF	法国国家标准
UTE	法国电气技术联合会标准
UNI	意大利国家标准
CEI	意大利电工委员会
NP	葡萄牙国家标准
SIS	瑞典国家标准
SEN	瑞典电工标准
SNV	瑞士国家标准
SEV	瑞士电气技术协会标准
NBN	比利时标准化研究所
NEN	荷兰国家标准
PN	波兰国家标准
CSN	捷克斯洛伐克标准
JIS	日本工业标准
JEC	日本电气学会标准
JEAC	日本电气协会标准
JEM	日本电机工业会标准
JEUS	日本电气事业联合会标准
AS	澳大利亚国家标准
NZS	新西兰国家标准
KS	韩国国家标准
BIS	印度国家标准
SASO	沙特阿拉伯标准协会
SABS	南非标准局

6 标准设计

6.1 标准图集的作用

(1) 工程建设标准设计（简称标准设计）

标准设计是指国家和行业、地方对于工程建设构配件与制品、建筑物、构筑物、工程设施和装置等编制的通用设计文件。自新中国成立后不久，就开展了各级标准图集的编制工作。在几十年的工程建设中发挥了积极的作用。

(2) 保证工程质量

标准设计图集一般是由技术水平较高的单位编制；并经有关专家审查、政府部门批准实施的，因此具有一定的权威性。大部分标准图集是可以直接引用到设计工程图样中的，

表 2.2-6 国家建筑标准设计图集（电气）目录

序号	类 别	图集号	图 集 名 称
1	通用图集类	00DX001	建筑电气工程设计常用图形和文字符号
		04DX002	工程建设标准强制性条文应用示例（房屋建筑部分——电气专业）
		04DX003	民用建筑工程电气施工图设计深度图样
		05DX004	民用建筑工程电气初步设计深度图样
		05DX005	民用建筑工程设计常见问题分析及图样——电气专业
		05DX006	民用建筑工程设计常见问题分析及图示——电气专业
		04DX101-1	建筑电气常用数据
2	电力线路敷设及安装	D101-1~7	电缆敷设（2003 年合订本）（户内电力电缆终端头）（户外电力电缆终端头）（电力电缆终端头及接头）（35kV 及以下电缆敷设）（矿物绝缘电缆敷设）（预分支电力电缆安装）
		D102-1~2	10kV 及以下架空绝缘线路安装（2002 年合订本）
		03D103	10kV 及以下架空线路安装

只要设计人员能够恰当地选用，就能够保证工程设计的正确性；对于不能直接引用的图集，它们对工程技术工作起到重要的指导作用，从而保证了工程质量。

(3) 提高设计速度

在工程建设中存在着大量的施工（或加工）详图设计文件。当编制了标准设计图集后，设计人员将选择的图集编号和内容名称写在设计文件上，施工单位就可以购图施工。这就简化了设计人员的重复劳动。

(4) 促进行业技术进步

对于不断发展的新技术和新产品，一般会组织有关生产、科研、设计、施工等方面，经过论证后适时编制标准设计图集。工程界通常认为它的实施是技术走向成熟的标志之一。因此，标准设计图集对于促进科研成果的转化、新产品的推广应用和推动工程建设的产业化等方面起到了至关重要的作用。

(5) 推动工程建设标准化

标准设计图集一般是对现行有关规范（程）和标准的细化和具体化；对于有些工程急需而规范（程）又无规定的问题，标准图集补充了一些要求。这样，即贯彻了规范（程）和标准又推动了其发展。

6.2 标准设计的分级

1) 标准设计现依据 1999 年 1 月 6 日建设部建设 [1999] 4 号文颁布的《工程建设标准设计管理规定》开展工作。

2) 标准设计的分级和应用范围见表 2.2-5。

表 2.2-5 标准设计的分级和应用范围

分级	主管部门	使用范围
国家	建设部	在全国范围内跨行业使用
行业	国务院主管部门	在行业内使用
地方	省、自治区、直辖市的建设主管部门	在地区内使用

(3) 有些大型设计院编制了在本院设计工程中使用的通用设计图。

6.3 电气国家标准图集目录

国家建筑标准设计图集（电气）目录见表 2.2-6。

6.4 弱电国家标准图集目录

《国家建筑图集目录》见表 2.2-7。

续表

序号	类 别	图集号	图 集 名 称
3	变配电设备及 35 / 6 (10) kV 二次接线	97D201-1	35/0.4kV 变压器室布置及设备构件安装
		99D201-2	干式变压器安装
		04D201-3	室外变压器安装
		95D202-1	蓄电池安装
		00D202-2	应急柴油发电机组安装
		99D203-1	35 / 6 (10) kV 变配电所二次接线 (交流操作部分)
		01D203-2	6~10kV 配电所二次接线 (直流操作部分)
4	室内管线安装及常用低压控制线路	D301-1~2	室内管线安装 (2004 年合订本)
		03D301-3	钢管配线安装
		99D302-1~3	低压双电源切换电路图 (2002 年合订本)
		90D303-1	交流 380V 笼型异步电动机常用控制电路图
		D303-2~3	常用风机控制电路图 (2002 年合订本)
5	车间电气线路安装	D401-1~3	车间线路安装 (2002 年合订本)
6	防雷与接地安装	99D501-1	建筑物防雷设施安装
		02D501-2	等电位联结安装
		03D501-3	利用建筑物金属体做防雷及接地装置安装
		03D501-4	接地装置安装
		D501-1~4	防雷与接地安装 (2004 年合订本)
7	强、弱电连接与控制	03D602-1	变配电系统智能化设计 (10kV 及以下)
		03D603	住宅小区建筑电气设计与施工
8	常用电气	D701-1~3	封闭式母线及桥架安装 (2004 年合订本)
		04D702-1	常用低压配电设备安装
		96D702-2	常用灯具安装
		03D702-3	特殊灯具安装
		D703-1~2	液位测量与控制 (2002 年合订本)
		03D704-1	演播厅、多功能厅及舞台灯光设计 (400m <sup>2</sup> 以下)
		03D705-1	电热采暖、伴热设备安装

表 2.2-7

国家建筑标准设计图集 (弱电) 目录

序号	类 别	图集号	图 集 名 称
1	通信线路安装	X101-1~2	通信线路安装 (2002 年合订本)
		02X101-3	综合布线工程设计施工图
		03X101-4	综合布线工程设计实例
		03X102	移动通信室内覆盖系统
2	建筑设备监控系统	03X201-2	建筑设备监控系统
		02X201-1	空调控制系统
3	广播与扩声系统	03X301-1	广播与扩声
4	电视系统	03X401-2	有线电视系统
5	火灾自动报警及消防联动	04D202-3	火灾报警及消防联动
		03X502	空气采样早期烟雾探测系统
6	住宅智能化系统	99X601	住宅智能化电气设计施工图集
		03X602	智能家居控制系统设计施工图集
7	公共建筑智能化系统	97X700 (上)	智能建筑弱电工程设计施工图集
		97X700 (下)	
8	智能化系统集成	03X801-1	建筑智能化系统集成设计图集



## 第3篇 建筑物电气装置标准

主 编：贺湘琨

编写人员：刘屏周 王厚余 黄妙庆





# 第1章 建筑物电气装置的国际标准

## 1 建筑物电气装置的国际标准

### 1.1 国际电工委员会 (IEC) 介绍

#### 1.1.1 综述

国际电工委员会 (IEC) 是制定和出版所有电气、电子和相关技术国际标准的主要的国际组织, 是联合国经济社会理事会的甲级咨询机构。国际电工委员会 (IEC) 通过其成员促进在电工标准化的所有方面的国际合作, 诸如电气、电子及相关技术领域的标准符合性等相关方面的工作。

国际电工委员会 (IEC) 成立于 1906 年。国际电工委员会 (IEC) 共有 62 个成员, 其中, 正式成员 53 个, 协作成员 9 个。此外, 还有 65 个国家参与“密切关系国家计划”, 从而使成员总数达到 127 个。国际电工委员会 (IEC) 章程规定, 1 个国家只能有 1 个机构以国家委员会名义参加国际电工委员会 (IEC)。国家委员会可以由 1 个政府机构或学会、协会代表, 也可以是由有关各方联合组成的专门机构。正式成员可以参加各项活动, 有投票权; 协作成员可以观察员身份参加所有会议, 并在其自行选择的 4 个技术委员会 (TC) 或分技术委员会 (SC) 里, 享有充分的表决权。

#### 1.1.2 国际电工委员会 (IEC) 的宗旨与任务

国际电工委员会 (IEC) 的宗旨是: 促进电工、电子工程领域中的标准化及有关事项 (如认证) 方面的国际合作, 增进国家间的相互了解。为实现这一目的, IEC 出版包括国际标准在内的各种出版物, 并希望各国家委员会在条件允许的情况下, 在本国标准化工作中使用这些国际标准。

国际电工委员会 (IEC) 从事电工技术 (如电力、电子、电信和原子能) 5 个方面的工作:

- 1) 议定共同的表达方法, 如名词术语、电路图的图形符号、单位及其文字符号, 以及电磁理论等。
- 2) 制定试验或说明性能的标准方法, 使有关质量或性能的叙述简洁明了, 无须另定最低的要求。
- 3) 就这些标准试验方法制定产品质量或性能指标。
- 4) 议定影响机械或电气互换性的特性, 简化品种, 以便进行大批量的连续生产。
- 5) 制定有关人身安全的技术标准。

#### 1.1.3 国际电工委员会 (IEC) 的组织机构

根据国际电工委员会 (IEC) 章程和程序规则的规定, 国际电工委员会 (IEC) 主要机构有: 理事会 (全体大会)、理事局、中央办公室等部门 (见图 3.1-1)。

##### (1) 理事会

理事会是国际电工委员会 (IEC) 最高权力和立法机构, 是国家委员会的全体大会, 由主席、上届主席或当选的下届主席、前任主席、副主席、司库、秘书长和国家委员会主席组成, 每年至少召开 1 次会议。

理事会负责制定国际电工委员会 (IEC) 政策和长期战略目标及财政目标, 选举理事局、标准化管理局及合格评定局成员和主席, 修改国际电工委员会 (IEC) 章程及程序规

则等。闭会期间, 将所有管理工作委托给理事局, 而标准化和合格评定领域的具体管理工作分别由标准化管理局 (SMB) 和合格评定局 (CAB) 负责。

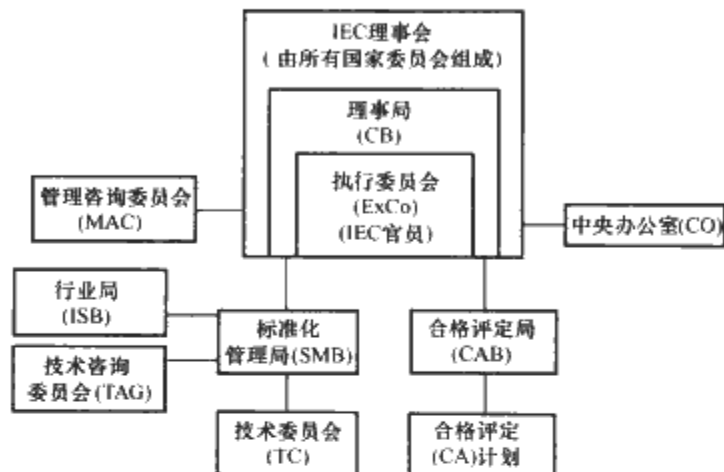


图 3.1-1 国际电工委员会 (IEC) 组织机构图

##### (2) 理事局 (CB)

理事局是主持 IEC 工作的最高决策机构, 负责提出并落实理事会制定的政策, 由国际电工委员会 (IEC) 官员和 15 名由理事会选出的投票成员组成。通常情况下, 每年至少召开 2 次会议。

理事局 (CB) 负责为理事会会议批准日程和准备文件, 接收并审议标准化管理局 (SMB) 和合格评定局 (CAB) 的报告。根据需要, 可设立咨询机构, 并指定咨询机构的主席及其成员。

##### (3) 管理咨询委员会 (MAC)

管理咨询委员会下设 4 个部门:

1) 主席未来技术咨询委员会 (PACT)。PACT 是 IEC 主席的咨询机构, 由 IEC 主席、秘书长、高级工业及科学执行官组成。就拟开展或已经开展的标准化工作的新技术向 IEC 主席提出建议, 旨在与私营和公共研究与开发机构建立直接联系, 以使 IEC 活动能够与日新月异的技术变化及其新标准需求同步发展。

2) 营销委员会 (MC)。MC 是理事局 (CB) 的咨询机构, 由 CB 指定的主席和成员组成。其任务是吸引对市场需求最敏感的关键人物积极参与 IEC 活动。

3) 销售政策委员会 (SPC)。SPC 是理事局 (CB) 的咨询机构, 由 CB 指定的主席和成员组成, 协助 IEC 制定销售政策和产品战略。

4) 财务委员会 (CDF)。CDF 是 IEC 司库的协商委员会, 由司库、IEC 秘书长及 7 名由理事会指定的成员组成。负责就所有与 IEC 财务有关的事宜提出建议, 协调和增进财政部门和国家委员会之间的联系, 并在 IEC 官员和国家委员会之间交换财务信息。CDF 以通信方式工作, 只是在必要时才召开会议。

##### (4) 标准化管理局 (SMB)

SMB 由 1 名主席、IEC 秘书长、由理事会选举的 15 个成员 (可更换) 组成。通常情况下, SMB 每年召开 3 次会议。负责管理 IEC 的标准工作包括: 建立和解散 IEC 技术

委员会 (TC): 指定 TC 秘书处和 TC 主席; 保证依据 IEC 行业局、技术咨询委员会和技术委员会的建议确定优先工作项目; 确定其工作范围、标准制定、修订时间表; 保持与其他国际组织的联系。SMB 是一个决策机构, 它向理事局和国家委员会汇报其做出的所有决定。

SMB 下设若干个行业局和技术咨询委员会。

1) 行业局 (ISB)。ISB 由具有市场意识、能够提供战略建议的高级官员组成, 负责拟定优先项目并向标准化管理局报告, 以保证 IEC 标准的市场相关性。ISB 与某一行业的所有 TC 共同工作, 以保证工作步调一致。目前, ISB 的工作涉及高压输配电、工业自动化系统和电信网络基础结构等, IEC 还计划建立新的行业局。

2) 技术咨询委员会 (TAG)。SMB 目前有 4 个负责横向协调的技术咨询委员会:

①电子与电信咨询委员会 (ACET)。ACET 负责将相关 TC 的主席和秘书分组并协调其工作, 制定这些领域共同遵守的导则。

②安全咨询委员会 (ACOS)。ACOS 由 SMB 指定的成员及相关 TC 的成员组成, 负责给制定基本安全标准的 TC 确定“横向安全职能”, 给参与安全产品研究的 TC 确定“安全小组职能”。

③电磁兼容咨询委员会 (ACEC)。ACEC 负责将个体成员、来自无线电干扰委员会 (CISPR) 的成员、TC 等专门委员会的成员及 IEC 产品技术委员会的成员划分成组, 并进行业务指导。

④环境问题咨询委员会 (ACEA)。ACEA 由 12 名精通环境事物和标准化工作的个体成员组成, 负责协调并保证 IEC 产品标准不会危害环境。

(5) 合格评定局 (CAB)

CAB 是一个决策机构, 由理事会选举产生的主席、12 名投票成员、1 名来自 IEC 合格评定计划的代表、IEC 司库和秘书长组成, 每年至少召开 1 次会议。CAB 全面管理 IEC 的决定, 评价和调整 IEC 的合格评定活动, 包括批准预算, 与其他国际组织就合格评定事项保持联系。

(6) 执行委员会 (ExCo)

ExCo 执行理事会和理事局的决定, 支持中央办公室的运作; 监督 IEC 官员的活动, 并负责与 IEC 国家委员会保持联系; 为理事局制定工作日程和起草文件。通常每年召开 4 次会议。

(7) 中央办公室 (CO)

CO 是 IEC 的办事机构和活动中心, 负责监督 IEC 章程、技术规则、技术工作导则及理事会和理事局决议的贯彻实施。通过现代化电子手段和通信设备, 保证项目管理、工作文件传递和标准最终文本出版发行等各项工作的正常进行。

CO 与国际标准化组织 (ISO) 中央秘书处使用同一个技术工作导则, 共同拥有 1 个信息中心, 为各国及各国际组织提供标准化信息服务。

(8) 技术委员会 (TC)

TC 是承担标准制定、修订工作的技术机构, 下设分技术委员会 (SC) 和项目组 (PT)。TC、SC 由各成员国自愿参加, 主席和秘书经选举产生, 由执行委员会任命。IEC 共有 93 个 TC、78 个 SC 和 1100 个 WG, 大约有 1 万名专家参与标准的制定、修订工作。

(9) ISO/IEC 联合技术机构

目前, ISO/IEC 联合技术机构有: 联合技术委员会

(JTC 1)、联合技术计划委员会 (JTPC)、联合技术咨询委员会 (JTAG) 等。

(10) 国际无线电干扰特别委员会 (CISPR)

CISPR 是 IEC 下属的半独立的委员会, 成立于 1923 年, 由 IEC 国家委员会和有关国际组织的代表组成。其主要活动是研究制定无线电干扰的测试方法, 规定允许的干扰极限, 制定抑制无线电干扰的各种措施。

IEC 有现行标准 5794 个。IEC 标准已被世界各国普遍采用。

#### 1.1.4 IEC 制定的国际标准和其他出版物

(1) IEC 制定的国际标准的类型

国际标准按不同的划分方法, 可以分成若干种类。下面仅介绍用标准的表现形式和标准的专业领域两种方法划分的标准类型。

1) 按标准的表现形式划分标准类型。制定国际标准既要采用先进的科学技术和成功的实践经验, 又要使利益相关方充分协商一致, 还要考虑标准的时效性, 以适应不同的市场需求, 所以制定国际标准必须遵守严格的工作程序。为此, 国际标准按照成熟的程度和市场的需求, 分成几种不同的表现形式, 供用户采用。

IEC 标准分为: IEC 国际标准、IEC 可公开提供的技术规范 (IEC/PAS, 简称公用规范)、IEC 技术规范 (IEC/TS)、IEC 技术报告 (IEC/TR) 和工业技术协议 (ITA)。

IEC 国际标准由 IEC 技术委员会 (TC) 和分技术委员会 (SC) 按照规定的程序制定。IEC 国际标准草案和最终国际标准草案必须获 IEC 成员团体和 TC 积极成员 (P 成员) 2/3 赞成票, 并且反对票不得超过总票数的 1/4 方为通过, 才能成为 IEC 国际标准。

IEC 公用规范 (IEC/PAS) 是在工作组内部达成一致意见的标准文件。TC/SC 通常是在批准某一新工作项目时, 同时决定将其制定为 IEC/PAS 先期出版。

IEC 技术规范 (IEC/TS) 是在技术委员会内部达成一致意见的标准文件。TC/SC 批准某一新工作项目时, 同时可决定将其制定为技术规范先期公布。

IEC 技术报告 (IEC/TR) 是 IEC 提供信息的文件, 包含了通常与国际标准文件不同类型的信息。当 TC、SC 收集到信息以支持某一工作项目时, 经 P 成员简单多数赞同, 就可以将这些信息以技术报告形式出版。

工业技术协议 (ITA) 是通过有关方面参加的公开研讨会, 在特定的 IEC 成员团体的支持下制定出来的标准文件, 能对标准化需求做出快速反应。

2) 按标准的专业领域划分标准类型。国际标准涵盖的领域很广, 为了便于管理和采用, 可以按照专业领域将国际标准分为若干类。

IEC 标准分为以下 8 类:

1) 第一类: 基础标准。其包括名词术语; 量值单位及其代号、图形符号、线端标记; 标准电压; 电流额定值和频率; 绝缘配合; 绝缘结构; 环境试验; 环境条件的分类; 可靠性和维修性。

2) 第二类: 原材料标准。其包括电工仪器用工作液; 绝缘材料; 金属材料电气特性的测量方法; 磁合金和磁钢; 裸铝导体。

3) 第三类: 一般安全、安装和操作标准。其包括建筑物、船上的户外严酷条件下的电气装置; 爆炸性气体中的电器; 工业机械中的电气设备; 外壳的保护; 带电作业工具; 照明保护装置; 激光设备。

4) 第四类: 测量、控制和一般测试标准。其包括电能测量和负载控制设备; 电子技术和基本电量的测量设备; 工业过程测量和控制; 核仪表; 仪表用互感器; 高压试验装置和技术。

5) 第五类: 电力的产生和利用标准。其包括旋转电机; 水轮机, 汽轮机; 电力变压器; 电力电子学; 电力电容器; 原电池和电池组; 电力继电器; 短路电流; 太阳光伏系统; 电气牵引设备; 电焊; 电热设备; 电汽车和卡车。

6) 第六类: 电力的传输和分配标准。其包括开关设备和控制设备; 电缆; 低压熔断器和高压熔断器; 电涌放电器; 电力系统的遥控和遥远保护及通信设备; 架空线。

7) 第七类: 电信和电子元件及组件标准。其包括半导体器件和集成电路; 印制电路; 电容器和电阻器; 微型熔断器; 电子管; 继电器; 光学纤维; 电缆、电线和波导; 机电元件; 压电元件; 磁性元件和铁氧体材料。

8) 第八类: 电信、电子系统和设备及信息技术标准。其包括无线电通信; 信息技术设备; 数据处理设备和办公机械的安全; 音频视频系统的设备; 医用电气设备; 测量和控制系统用数字数据通信; 遥控和遥信; 电磁兼容性; 无线电干扰的测量、限制和抑制; 报警系统; 导航仪表。

## (2) IEC 制定国际标准的程序

1) 预备阶段。预备阶段的工作是通过 P 成员的简单多数投票, TC 和 SC 可将尚不完全成熟、不能进入下一阶段处理的预备工作项目(如涉及新兴技术的项目)纳入工作计划中。所有的预备工作项目都应由 TC 定期复审, TC 应对每个预备工作项目所需要的资源进行评价。该阶段可对新工作项目提案进行解释, 并制定初始草案。

2) 提案阶段。提案阶段的工作是提交新工作项目提案(NP), 并纳入工作计划。

NP 是对下列内容的提议: 一个新标准; 某个现行标准的部分新内容; 技术规范或可公开提供的技术规范。

现有 TC 或 SC 范围内 NP 可由以下相关组织提出: 国家团体; TC 或 SC 秘书处; 另一个 TC 或 SC; 联络组织; 技术管理局或其咨询组之一; CEO(首席执行官)。

NP 的起草人应做到: 努力提供用于讨论的第一工作草案, 或至少也应提供工作草案大纲; 指定 1 名项目负责人。

批准 NP 的过程是:

①提交。每项 NP 均应使用规定表格提交, 表格中要注明建议出版的日期。填写完表格后, 国家团体应对提案经过充分论证。

②接受项目的条件。保证在 IEC 的 P 成员中有至少 25%, 而且最少有 4 个 P 成员同意。

③表决。填写好的表格既可以通信方式分发给 TC 或 SC 成员, 由 P 成员进行书面投票, 为 O 成员提供参考; 也可在 TC 或 SC 会议上对一项 NP 做出决定。

④批准后的工作。某一 NP 一旦被接受, 就将作为一个新项目以适当的优先顺序纳入相关 TC 或 SC 的工作计划中, 并在 CEO 办公室(中央办公室)注册。在规定表格中应注明一致同意的目标日期。

如果涉及 ISO 和 IEC 两个组织的 TC, CEO 应做必要的协调工作。

同意积极参与工作的 P 成员应指派 1 名或若干名专家。

3) 准备阶段。准备阶段的工作是依据 ISO/IEC 导则第 2 部分的要求准备工作草案(WD)。

如果一个新的工作项目被接受, 项目负责人应在批准阶段与由 P 成员指定的专家一起工作。项目负责人应负责制

定项目, 通常情况下负责召集和主持 WG 会议。

秘书处可通过召开会议或以通信方式向 TC 或 SC 提出成立 WG/PT 的建议。根据建立 WG/PT 的提案, 已同意积极参加的 P 成员应确定其技术专家, 其他 P 成员也可指派专家。

WG/PT 应由 TC 或 SC 负责建立, TC 或 SC 应规定 WG 的任务, 并确定向 TC 或 SC 提交草案的目标日期。

4) 委员会阶段。委员会阶段是考虑国家团体意见的主要阶段, 旨在技术内容上达成一致。因此国家团体应认真研究 CD 文本并提交与这一阶段相关的所有意见。

第一个 CD, 应分发给 TC 或 SC 的 P 成员及 O 成员, 供其研究, 并清楚注明提交答复的最迟日期。国家团体对委员会第一个草案提出意见的时间是 3 个月。

在答复日期截止后的 4 个星期内, 秘书处应准备好对意见的汇总, 并将其分发给 TC 或 SC 的所有 P 成员及 O 成员。

在准备汇总意见的过程中, 秘书处应与 TC 或 SC 主席协商, 如有必要应与项目负责人协商, 提出以下项目处理意见: 在下次会议上讨论 CD 及意见, 或分发修改后的 CD 供研究, 或登记询问阶段 CD。

如果在分发之日起的两个星期内, 2 个或更多的 P 成员不同意秘书处提出的后两种处理建议, 应在会议上讨论 CD。

如果经过会议研究未对 CD 达成一致意见, 综合会议上的各项决定, 应在 3 个月内分发委员会另一草案供研究考虑。国家团体可用 3 个月时间对该草案及之后的文本提出意见。

协商一致是指总体同意, 利益相关方的任何重要一方对重大问题没有坚持反对, 整个过程寻求考虑所有相关方的意见, 并且协调所有对立的争论(注: 协商一致并不意味着一致同意)。

当所有的技术问题得到解决, CD 作为征询意见草案分发, 并由 CEO 办公室登记后, 委员会阶段即告结束。如果技术争议不能在适当的时间内解决, TC 或 SC 可以考虑在该文件成为国际标准之前, 以技术规范形式作为一种中间出版物出版。这一阶段的时间限制推荐为 12 个月。

5) 征询意见阶段。在征询意见阶段, 征询意见草案(CDV)应由 CEO 办公室在 4 个星期内分发给所有的国家团体进行为期 5 个星期的投票。分发时应通知国家团体 CEO 办公室收到投票单的截止日期。投票截止时, CEO 应在 4 个星期内将投票结果及所收到的意见寄给 TC 或 SC 主席和秘书处, 以便迅速采取下一步措施。

6) 批准阶段。CEO 办公室应在 4 个月内将国际标准最终草案(FDIS)发送给所有成员团体, 以进行为期 2 个月的投票。分发时应通知国家团体 CEO 办公室收到投票单的截止日期。

7) 出版阶段。CEO 应在 2 个月之内更正 TC 和 SC 秘书处指出的所有错误, 并且印刷和分发国际标准。

## (3) IEC 制定的其他出版物

IEC 制定的其他出版物有:

### 1) 技术规范(TS)。

①起草和出版的条件。当所讨论的项目正在研究过程中或由于任何其他理由, 现在不可能, 但在将来可能达成出版国际标准协议的情况下, TC 或 SC 可遵循提案阶段中所规定的程序出版技术规范。

制定这种技术规范的程序应遵循准备阶段和委员会阶段中的规定, 经过 TC 或 SC 的 P 成员投票的 2/3 多数票通过。

决定将结果文件以 TS 形式出版。

当最终国际标准草案不能得到所要求的支持率而进入批准阶段时,或对协商一致产生疑义时,TC 或 SC 可通过其 P 成员的 2/3 多数投票决定本文件以 TS 形式出版。TS 前言中应说明不能获得所要求的支持率的原因。

② 出版和复审。如果 TC 或 SC 的 P 成员已同意出版 TS, TC 或 SC 秘书处应在 4 个月内以机读形式将 TS 草案提交 CEO 出版。

TS 应在出版后 3 年内由 TC 或 SC 进行复审,其目的是重新检查当时以 TS 形式出版的情况是否发生了变化。如果可能,可以把此 TS 平等转换为国际标准。

2) 可公开提供的技术规范(PAS)。PAS 可以是在制定正式国际标准之前出版的中间性技术规范,或在 IEC 中可以是一种与外部组织合作出版的带有“双标识”的出版物。PAS 不是完全符合标准要求文件。

PAS 的提案只能由 A 类联络组织或 D 类联络组织提交,或由委员会中的 P 成员提交。

PAS 草案经过文本确认,经检查与现行国际标准没有冲突,并经相关委员会 P 成员投票的简单多数批准后方可出版。

与此同时,将 PAS 纳入相关委员会的正式工作计划中,旨在采用准备阶段到出版阶段中所描述的正常程序或快速程序将其转换为国际标准。

PAS 出版后一般有效期为 3 年,也可延期 3 年,之后应修改为另外一种标准性文件或撤销。

3) 技术报告(TR)。当 TC 或 SC 收集到的数据,在通常情况下,不适于作为国际标准出版时,TC 或 SC 可以通过 P 成员投票的简单多数,决定是否要求 CEO 以 TR 的形式出版。该文件从本质上讲完全是信息性的,而不应有标准的内容。该文件应明确说明与相应主题标准的关系,标准方面的内容应在有关主题国际标准中论及。如果有必要,CEO 应与技术管理局进行协商,决定是否将该文件作为 TR 出版。

如果 TC 或 SC 的 P 成员同意出版 TR, TC 或 SC 秘书处应在 4 个月内以机读形式将报告草案提交给 CEO 出版。

承担工作的委员会对 TR 进行定期复审,以保证其有效性。撤销某一 TR 的决定,由承担工作的 TC 或 SC 作出。

4) 指南。任何准备出版的指南都应按照 ISO/IEC 导则中规定的程序原则进行。

5) 工业技术协议(ITA)。工业技术协议(ITA)是一种规范性或资料性文件,它规定新产品或服务的参数。这种文件是在 IEC 技术框架之外制定的,它有助于工业产品生产和/或市场开发。工业技术协议类似工业事实标准或规范。快速发展的技术行业是工业技术协议的主要潜在用户,但是可能覆盖整个电气和电子工程领域(包括 ICT)。这种文件不包括安全、健康、环境保护和其他类似课题的横向方面,这些内容通常属法规和协商一致标准领域。工业技术协议为达到在市场上接受 IEC 批准的新技术提供一个新的高效途径:因为这种协议制定的时间快,所以节省费用;由于协议制定工作参加者是技术上唯一的公断人,所以他们能够充分地掌握和接受这些协议。

6) 技术倾向评定(TTA)。技术倾向评定(TTA)强调一种技术的某些方面,这些方面在近期到中期很可能变成一个标准化领域。它是针对技术创新早期阶段需要在标准化问题上全球合作做出的响应。技术倾向评定给出新兴领域的技术水平状态或趋势,通常是预标准化工作和研究

的结果。

## 1.2 IEC TC64 的组成和制定的标准

### 1.2.1 IEC TC64 的组成和任务

国际电工委员会(IEC)第 64 技术委员会(TC 64)“电气装置和电击防护委员会”是国际电工委员会(IEC)众多技术委员会中的一个系统委员会。该委员会的任务是:为电击防护制定了全面的安全标准,并且为低压电气装置中正确选择电气设备、安全用电制定标准。

1) 该委员会有正式成员国(P 成员国)33 个,他们是:澳大利亚(AU)、奥地利(AT)、比利时(BE)、加拿大(CA)、中国(CN)、古巴(CU)、捷克共和国(CZ)、丹麦(DK)、芬兰(FI)、法国(FR)、德国(DE)、匈牙利(HU)、冰岛(IS)、印度尼西亚(ID)、爱尔兰(IE)、意大利(IT)、日本(JP)、韩国(KR)、马莱群岛(MY)、马其他(MI)、墨西哥(MX)、荷兰(NL)、新西兰(NZ)、挪威(NO)、波兰(PL)、俄罗斯(RU)、斯拉伐克(SK)、南非(ZA) 西班牙(ES)、瑞典(SE)、瑞士(CH)、美国(US)、联合王国(UK)。非正式成员国(O 成员国)14 个,他们是:阿根廷(AR)、巴西(BR)、保加利亚(BG)、克罗地亚(HR)、希腊(GR)、印度(IN)、伊朗(IR)、以色列(IL)、葡萄牙(PT)、罗马尼亚(RO)、塞尔维亚(RS)、新加坡(SG)、斯洛文尼亚(SI)、乌克兰(UA)。

2) 该委员会设有主席和秘书长,每一年半举行一次工作会议。

对于未来的工作,该委员会的考虑是:

1) 在 TC99 标准的一般要求的基础上为电压超过 1kV 的建筑物电气装置,开发出特殊要求。与其他委员会的配合和合作,鉴于各种电气设备不断发展的技术要求,不断开发对电气装置的要求。

2) 考虑到雷击、EMC、绝缘配合和电击防护,未来的任务是要为接地、等电位联结和布线建立一套合适的标准。

3) 与 IEC TC 99 配合和合作,为电压超过 1kV 的建筑物电气装置,开发出特殊要求。

### 1.2.2 IEC TC64 制定的标准

IEC TC64 制定了以下三个方面的标准:

1) IEC 61140《电击防护 装置和设备的通用部分》标准,该标准规定的是电气装置和设备两者共用的电击防护基本安全要求。

2) IEC 60479《电流通过人体和家畜的效应》系列标准,该系列标准包含有 5 个标准,规定的是涉及电流通过人体和家畜的效应。

以上两个方面的标准是 IEC 的基础安全出版物。

3) IEC 60364《建筑物电气装置》系列标准,该系列标准包含有 26 个标准,规定的是电气工程建设的电气安全要求。其中的 IEC 60364-4-41:《建筑物电气装置 第 4-41 部分:安全防护 电击防护》标准,规定了适用于全部电气装置的电击防护要求;其中的 IEC 60364-5-54:《建筑物电气装置 第 5-54 部分:电气设备的选择和安装 接地装置、保护导体和保护联结导体》标准,规定了接地系统的技术要求,对于电击防护有着重要的意义。这两个标准是这个系列标准中非常重要的标准。

该委员会制定的 IEC 60364 系列标准已经在很多国家作为国家规范的基础,获得广泛的应用:

1) 有一些国家直接使用 IEC 60364 系列标准作为国家标准。



2) 有一些国家使用 IEC 60364 系列标准作为地区性标准的基础, 从而成为他们的国家标准所依靠的基础, 例如欧盟国家。

3) 有一些国家不直接使用 IEC 60364 系列标准, 但利用 IEC 60364 系列标准的原则作为开发其国家电气规范的基础, 例如加拿大、美国。

现在经过该委员会的各成员国的努力, 这些标准的总体结构已经形成。

4) 对电气装置的其他保护措施进行调整和完善的要求,

例如电击防护、过电流、过电压、火灾以及对建筑物内电磁干扰的防护。

5) 某些特殊装置或场所的要求, 例如: 将完成的对“社区公用设施场所”的要求等。

6) 对用于视、听和数据的家用和建筑电子系统和通信网络有关装置要求的进行协调处理。

### 1.2.3 IEC TC64 制定的国际标准

IEC TC64 制定的国际标准见表 3.1-1。

表 3.1-1

IEC TC64 国际标准目录

序号	国际标准号	英文名称	中文名称
1	IEC 60364-1: 2005	Low-voltage electrical installations - Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions	低压电气装置 第1部分: 基本原则, 一般特性的评估和定义
2	IEC 60364-4-41: 2005	Low-voltage electrical installations - Part 4-41: Protection for safety- Protection against electric shock	低压电气装置 第4-41部分: 安全防护——电击防护
3	IEC 60364-4-42: 2001	Electrical installations of buildings - Part 4-42: Protection for safety- Protection against thermal effects	建筑物电气装置 第4-42部分: 安全防护——热效应保护
4	IEC 60364-4-43: 2001	Electrical installations of buildings - Part 4-43: Protection for safety- Protection against overcurrent	建筑物电气装置 第4-43部分: 安全防护——过电流保护
5	IEC 60364-4-44: 2007	Low-voltage installations of buildings - Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances	低压电气装置 第4-44部分: 安全防护——电压扰动和电磁扰动防护
6	IEC 60364-5-51: 2005	Electrical installations of buildings - Part 5-51: Selection and erection of electrical equipment - Common rules	建筑物电气装置 第5-51部分: 电气设备的选择和安装——通用规则
7	IEC 60364-5-52: 2001	Electrical installations of buildings - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems	建筑物电气装置 第5-52部分: 电气设备的选择和安装——布线系统
8	IEC 60364-5-53: 2002	Electrical installations of buildings - Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment - Isolation, switching and control	建筑物电气装置 第5-53部分: 电气设备的选择和安装——隔离、开关设备和控制设备
9	IEC 60364-5-54: 2002	Electrical installations of buildings. Part 5: Selection and erection of electrical equipment, Chapter 54: Earthing arrangements and protective conductors	建筑物电气装置 第5部分: 电气设备的选择和安装 第54章: 接地配置、保护导体和保护联结导体
10	IEC 60364-5-55: 2002	Electrical installations of buildings - Part 5-55: Selection and erection of electrical equipment - Other equipment	建筑物电气装置 第5-55部分: 电气设备的选择和安装——其他设备
11	IEC 60364-6-61: 2006	Low-voltage electrical installations - Part 6-61: Verification	低压电气装置 第6-61部分: 检验
12	IEC 60364-7-701: 2006	Low-voltage electrical installations - Part 7-701: Requirements for special installations or locations - Locations containing a bath or shower	低压电气装置 第7-701部分: 特殊装置或场所的要求——装有浴盆或淋浴盆场所
13	IEC 60364-7-702: 1997	Electrical installations of buildings - Part 7: Requirements for special installations or locations - Section 702: Swimming pools and other basins	建筑物电气装置 第7部分: 特殊装置或场所的要求 第702节: 游泳池及其他水池电气装置
14	IEC 60364-7-703: 2004	Electrical installations of buildings - Part 7-703: Requirements for special installations or locations - Rooms and cabins containing sauna heaters	建筑物电气装置 第7-703部分: 特殊装置或场所的要求 第703节: 装有桑拿浴加热器的房间和小室
15	IEC 60364-7-704: 2005	Low-voltage electrical installations - Part 7-704: Requirements for special installations or locations - Construction and demolition site installations	低压电气装置 第7-704部分: 特殊装置或场所的要求——施工和拆除场所的电气装置
16	IEC 60364-7-705: 2006	Low-voltage electrical installations - Part 7-705: Requirements for special installations or locations - Agricultural and horticultural premises	低压电气装置 第7-705部分: 特殊装置或场所的要求——农业和园艺设施



续表

序号	国际标准号	英文名称	中文名称
17	IEC 60364-7-706 : 2005	Low-voltage electrical installations - Part 7-706; Requirements for special installations or locations - Conducting locations with restricted movement	低压电气装置 第 7-706 部分: 特殊装置或场所的要求——狭窄的可导电场所
18	IEC 60364-7-708 : 2007	Low-voltage electrical installations-Part 7-708; Requirements for special installations or locations-Caravan parks, camping parks and similar locations	低压电气装置 第 7-708 部分: 特殊装置或场所的要求——房车停车场、露营地停车场和类似场所
19	IEC 60364-7-709 : 2007	Low-voltage electrical installations - Part 7-709; Requirements for special installations or locations - Marinas and similar locations	低压电气装置 第 7-709 部分: 特殊装置或场所的要求——码头和类似场所
20	IEC 60364-7-710 : 2002	Electrical installations of buildings - Part 7-170; Requirements for special installations or locations - Medical locations	建筑物电气装置 第 7-710 部分: 特殊装置或场所的要求——医疗场所
21	IEC 60364-7-711 : 1998	Electrical installations of buildings - Part 7-711; Requirements for special installations or locations - Exhibitions, shows and stands	建筑物电气装置 第 7-711 部分: 特殊装置或场所的要求——展览馆、陈列室和展位
22	IEC 60364-7-712 : 2002	Electrical installations of buildings - Part 7-712; Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems	建筑物电气装置 第 7-712 部分: 特殊装置或场所的要求——光伏供电系统
23	IEC 60364-7-713 : 1996	Electrical installations of buildings - Part 7; Requirements for special installations and locations - Section 713; Furniture	建筑物电气装置 第 7 部分: 特殊装置或场所的要求 第 713 节: 家具
24	IEC 60364-7-714 : 1996	Electrical installations of buildings - Part 7; Requirements for special installations or locations - Section 714; External lighting installations	建筑物电气装置 第 7 部分: 特殊装置或场所的要求 第 714 节: 户外照明装置
25	IEC 60364-7-715 : 1999	Electrical installations of buildings - Part 7-715; Requirements for special installations or locations - Extra-low-voltage lighting installations	建筑物电气装置 第 7-715 部分: 特殊装置或场所的要求——特低电压照明装置
26	IEC 60364-7-717 : 2001	Electrical installations of buildings - Part 7-717; Requirements for special installations or locations - Mobile or transportable units	建筑物电气装置 第 7-717 部分: 特殊装置或场所的要求——车载的或可移动的装置
27	IEC 60364-7-721 : 2007	Low-voltage electrical installations - Part 7-721; Requirements for special installations or locations-Electrical installations in caravans and motor caravans	低压电气装置 第 7-721 部分: 特殊装置或场所的要求——房车和电动房车的电气装置
28	IEC 60364-7-729 : 2007	Low-voltage electrical installations-Part. 7-729; Requirements for special installations or locations Operating or maintenance gangways	低压电气装置 第 7-729 部分: 特殊装置或场所的要求——操作和维护通道
29	IEC 60364-7-740 : 2000	Electrical installations of buildings - Part 7-740; Requirements for special installations or locations - Temporary electrical installations for structures, amusement devices and booths at fairgrounds, amusement parks and circuses	建筑物电气装置 第 7-740 部分: 特殊装置或场所的要求——游乐场和戏场中的构筑物、娱乐设施和棚屋
30	IEC 60364-7-753 : 2005	Low-voltage electrical installations - Part 7-753; Requirements for special installations or locations - Floor and ceiling heating systems	低压电气装置 第 7-753 部分: 特殊装置或场所的要求——地板和天花板加热系统
31	IEC 60449 : 1973	Voltage bands for electrical installations of buildings	建筑物电气装置的电压区段
32	IEC/TS 60479-1 : 2005	Effects of current on human beings and livestock - Part 1; General aspects	电流通过人体和家畜的效应 第 1 部分: 常用部分
33	IEC/TS 60479-2 : 2007	Effects of current on human beings and livestock-Part 2; Special aspects	电流通过人体和家畜的效应 第 2 部分: 特殊情况
34	IEC/TS 60479-3 : 1998	Effects of current on human beings and livestock - Part 3; Effects of currents passing through the body of livestock	电流通过人体和家畜的效应 第 3 部分: 电流通过家畜躯体的效应
35	IEC/TR 60479-4 2004	Effects of current on human beings and livestock - Part 4; Effects of lightning strokes on human beings and livestock	电流通过人体和家畜的效应 第 4 部分: 雷电流通过人体和家畜躯体的效应
36	IEC 61140 : 2001	Protection against electric shock - Common aspects for installation and equipment	电击防护 装置和设备的通用部分
37	IEC/TR 60479-5 : 2007	Effects of current on human beings and livestock-Part 5; Touch voltage threshold values for physiological effects	电流通过人体和家畜的效应 第 5 部分: 对于生理效应的接触电压限值
38	IEC/TS 61200-52 : 1993	Electrical installation guide - Part 52; Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems	电气安装指南 第 52 部分: 电气设备的选择和安装——布线系统
39	IEC/TS 61200-53 : 1994	Electrical installation guide - Part 53; Selection and erection of electrical equipment - Switchgear and controlgear	电气安装指南 第 53 部分: 电气设备的选择和安装——开关设备和控制设备

续表

序号	国际标准号	英文名称	中文名称
40	IEC/TR 61200-413:1996	Electrical installation guide - Clause 413; Explanatory notes to measures of protection against indirect contact by automatic disconnection of supply	电气安装指南 第413节:无意识断开供电的间接接触保护措施的解释性说明
41	IEC/TR 61200-704:1996	Electrical installation guide - Part 704; Construction and demolition site installations	电气安装指南 第704部分:施工和拆除场所的电气装置
42	IEC/TR 61201:1992	Extra-low voltage (ELV) - Limit values	特低电压(ELV)限值
43	IEC/TR 62066:2002	Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a. c. power systems - General basic information	电涌过电压和在交流低压系统中的电涌保护——综合基本信息
44	IEC/TS 61201:2007	Use of conventional touch voltage limits-Application guide	接触电压限值的常规使用——应用导则

#### 1.2.4 采用国际标准的作用

随着经济全球化、贸易国际化以及科学技术的迅速发展,国际标准越来越受到世界各国的重视,在世界经济、社会发展中发挥着越来越重要的作用。

国际标准的作用主要体现在以下3个方面:

1) 推行国际标准,有利于消除国际贸易中的技术壁垒,促进贸易自由化。近年来,国际贸易迅速发展,随着关税壁垒的减弱,非关税壁垒,特别是技术壁垒对国际贸易的影响越来越大,已经成为影响国际贸易的重要因素。

为了消除国际贸易中的技术性壁垒,世界贸易组织(WTO)成员签署了《技术性贸易壁垒协定》(WTO/TBT协定),包括《制定、批准和实施标准的良好行为规范》。该协定指出,“国际标准和合格评定体系能为提高生产效率和便利国际贸易作出重大贡献”。因此,推行国际标准是WTO成员的义务,也是国际贸易发展的需要。

例如,中国海尔集团为实现国际化的目标,收集各类标准24 000多份,并与标准化技术机构合作,跟踪研究国际组织和出口国的相关标准,建立了企业的标准库。接到出口订单后,根据订货合同,检索企业标准库,即可了解到出口国的适用标准。海尔集团将ISO、IEC标准、发达国家的国家标准以及有关企业标准进行对照分析,作为出口产品开发、生产和检验的依据。

2) 推行国际标准,有利于促进技术进步,提高产品质量和效益。国际标准制定过程的国际化、公开化以及协商一致的原则,确保了无论是产品还是服务的最终标准文本,都能反映所涉及的工业界、政府、研究机构、实验室和消费者组织等各方面集体的知识、智慧和经验。国际标准中包含着许多世界上先进的科技成果,可以提供大量技术信息和数据。特别是发展中国家,推行国际标准,相当于引进先进的技术和成果,加快促进本国的技术进步和产品开发,提高产品质量,增强市场竞争力。正如WTO/TBT中指出的,“国际标准在发达国家向发展中国家转让技术方面可以作出贡献”。

例如,在电气工程设计中,关于“电流通过人体的效应”的各项技术数据;关于低压电气装置的系统组成和划分;关于防止人遭受电击的直接接触防护和间接接触防护措施等技术都是通过制定国际标准而传播到世界各国,对于提高各国的电气技术水平,促进技术进步起了很大作用。

3) 推行国际标准,有利于促进国际经济技术交流与合作。经济的全球化,使得跨国公司迅速发展,国家之间、地区之间的合作研究、合作开发、合作生产、合作贸易,以及技术交流越来越多,电子商务也得到广泛应用。这些都需要国际标准提供统一的技术规则和共同的技术依据,即提供技术支持。可以说,国际标准是国际经济技术交流与合作的技

术基础。正如ISO、IEC主席和ITU秘书长在2002年第33届世界标准日的祝词中所指出的,“标准是一种世界各地各种业务用以开发产品、服务和相关体系的技术语言”。制定标准的“核心目的是通过确定一系列的技术参数为各地生产产品、提供服务和相关体系建立一个技术基础”。

### 1.3 中国的标准化管理

#### 1.3.1 中国的标准化体制

1988年《中华人民共和国标准化法》颁布,该法规定了中国的标准体制、标准化管理体制和运行机制。

根据《标准化法》的规定,中国标准化工作实行统一管理与分工、分级管理相结合的管理体制:

1) 国家标准化管理委员会(SAC)经国务院授权,统一管理全国标准化工作。

2) 国务院有关行政主管部门或授权的行业社团、企业集团分工管理本部门、本行业的标准化工作。

3) 各省、自治区、直辖市质量技术监督局统一管理本行政区域内的标准化工作。

4) 各省、自治区、直辖市人民政府有关行政主管部门或授权的行业社团,分工管理本行政区域内本部门、本行业的标准化工作。

#### 1.3.2 中国标准的分层和管理

根据《标准化法》的规定,中国标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准4层。

1) 国家标准:需要在全国范围内统一的技术要求,由国家标准化管理委员会(SAC)统一审批、编号、发布。

2) 行业标准:没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求,由国务院有关行政主管部门审批、编号、发布,并报国家标准化管理委员会(SAC)备案。

3) 地方标准:没有国家标准、行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求及法律、法规规定的要求,由省、自治区、直辖市质量技术监督局审批、编号、发布,并报SAC和国务院有关行政主管部门备案。

4) 企业标准:在企业范围内统一的要求,由企业制定。企业产品标准应报当地质量技术监督局和有关行政主管部门备案。

中国国家标准、行业标准和地方标准,又分为强制性和推荐性两种属性的标准。保障人体健康、保障人身、财产安全的标准和法律、法规规定强制执行的标准是强制性标准,其他标准是推荐性标准。

中国国家标准化管理委员会代表国家参加国际电工委员会(IEC)和其他国际或地区标准化组织,负责组织IEC中国国家委员会的工作;负责管理国内各部门、各地区参与国

际标准化工作。

### 1.3.3 积极采用国际标准是中国的标准化政策

由于国际标准在国际贸易、技术转让和开展国际经济、技术交流与合作等方面具有重要的作用,世界各国对国际标准的制定和采用都非常重视,ISO、IEC也把推行国际标准作为一项重要的战略任务。ISO、IEC于1999年发布了新的ISO/IEC指南21《采用国际标准为区域或国家标准》。中国国家质检总局于2001年4月发布了国家标准《标准化工作指南 第2部分:采用国际标准的规则》(GB/T 20000.2—2001),2001年11月21日发布了新的《采用国际标准管理办法》,对采用国际标准做出了具体规定。

#### (1) 采用国际标准的概念和概况

什么是采用国际标准(下面简称采标)?《采用国际标准管理办法》规定,“采用国际标准是指将国际标准的内容,经过分析研究和试验验证,等同或修改转化为中国标准(包括国家标准、行业标准、地方标准和企业标准),并按中国标准审批发布程序审批发布”。这一定义,包含了以下几个要点:

1) 采标工作中,应根据中国国情及科学技术、生产工艺水平等相关条件的发展情况,对国际标准内容进行分析研究和试验验证,以确定国际标准的适用性及用什么方法采用,而不能照抄照搬。

2) 采标是将国际标准转化为中国标准,可以转化为国家标准或行业标准,也可以转化为地方标准或企业标准。

3) 只有等同采用和修改采用国际标准,才属于采用国际标准。

4) 采标的中国标准,应按中国规定的标准制定程序,包括审批发布程序,开展标准的修订工作。

中国历来十分重视采标工作,把它作为一项重要的技术经济政策。早在1982年,原国家经委、原国家科委和原国家标准总局就联合颁发了《采用国际标准管理办法(试行)》,1988年颁布的《中华人民共和国标准化法》明确规定,“国家鼓励积极采用国际标准”。

#### 5) 在制定各年度采标计划时,应考虑以下重点:

①国家经济结构调整、产业发展和市场、企业急需的国际标准项目。

②为履行中国加入WTO的承诺,急需的国际标准项目。

③中国急需制定的强制性标准所对应的国际标准项目。

④属于填补中国标准空白的国际标准项目。

#### (2) 采用国际标准的原则

采标应遵循以下基本原则:

1) 采标应当符合中国有关法律、法规的规定,遵循国际惯例,做到技术先进、经济合理、安全可靠。

2) 对于国际标准中通用的基础性标准、试验方法标准应当优先采用。

3) 采标中的安全标准、卫生标准、环保标准,应当以保障国家安全、防止欺诈、保护人体健康和人身财产安全、保护动植物的生命和健康、保护环境为正当目标;除非这些国际标准由于基本气候、地理因素或者基本的技术问题等原因对中国无效或者不适用。

4) 采标时,应当尽可能等同采用国际标准。由于基本气候、地理因素或者基本的技术问题等原因对国际标准进行修改时,应当将与国际标准的差异控制在合理的、必要的并且是最小的范围之内。

5) 中国的一个标准应当尽可能采用一个国际标准。当

中国一个标准必须采用几个国际标准时,应当说明该标准与所采用的国际标准的对应关系。

6) 采标应当尽可能与相应国际标准的制定工作同步,并可以采用标准制定的快速程序。

7) 采标应当同中国的技术引进、企业的技术改造、新产品开发、老产品改进相结合。

8) 采标的中国标准的起草、审批、编号、发布、出版、组织实施和监督,同中国其他标准一样,按中国有关法律、法规和规章规定执行。

9) 企业为了提高产品质量和技术水平,提高产品在国际市场上的竞争力,对于贸易需要的产品标准,如果没有相应的国际标准或国际标准不适用时,可以采用国外先进标准。

#### (3) 与国际标准一致性程度的划分

各国在采标的原则与方法上需要一个统一的尺度,以保证各自采标的结果能得到相互承认。为此,ISO/IEC制定了指南21,规范各成员国采标的方法与结果。中国将ISO/IEC指南21(1999年版)修改采用为《标准化工作指南 第2部分:采用国际标准的规则》(GB/T 20000.2—2001),对与国际标准一致性程度的划分做出了原则规定。

中国标准与国际标准的一致性程度分为3种:等同、修改和非等效。与国际标准的一致性程度为“等同”和“修改”的中国标准,被视为采用了国际标准,而与国际标准的一致性程度为“非等效”的中国标准,不被视为采用了国际标准,仅表明该标准与国际标准的对应关系。

#### 1) 等同。“等同”程度分如下两种情况:

①中国标准与国际标准在技术内容和文本结构方面完全相同。

②中国标准与国际标准在技术内容上相同,但可以包含小的编辑性修改。

这两种情况的任何一种都属于“等同”程度。为了适应中国的语言习惯,在采标时,不可避免地要进行一些编辑性修改,所以,中国标准等同采用国际标准通常属于②的情况。

“等同”程度的含义是:国际标准可以接受的内容在中国标准中也可以接受;反之,中国标准可以接受的内容在国际标准中也可以接受。因此,符合中国标准就意味着符合国际标准,这就是“反之亦然原则”。

#### “等同”条件下的编辑性修改可以包括:

①用小数点符号“.”代替小数点符号“,”,在国际标准中表示小数使用小数点符号“.”,而在中国则使用小数点符号“,”。小数点符号“.”为中国法定的数学符号。

②对印刷错误的改正或页码变化,印刷错误指由于出版印刷过程中引起的错误,例如:拼写错误、章节顺序号的颠倒等。页码变化可能是由于各国标准的版式与国际标准有不同,还可能由于中国标准增加了资料性内容(如资料性附录、注)或由于采用翻译法的中国标准引起了文字所占页面多少的变化,从而导致页码的变化。

③从多语种发布的国际标准的版本中删除其中一种或几种语言文本,一些国际标准是以多语种发布的。例如一个国际标准在一个文本中以英文、法文和俄文3种语言文字发布。而作为中国标准只能以1种语言文字为准,例如英文,则可能删除法文和俄文。

④为了与现有的系列标准一致而改变标准名称,采标的中国标准如需纳入中国标准体系中已有的某一系列标准,或具有多个部分的某一标准中,而这一系列标准或具有多个部分的这一标准的名称的引导要素或主体要素可能与对应的国际标准的名称不同,为了与已有标准的名称一致,则需按已

有标准的名称改变国际标准的名称。

⑤用“本标准”代替“本国际标准”，国际标准中内容的表达在提及自身时往往用“本国际标准”表述，而采标的中国标准叙述的角度转化为以中国标准自身出发，在提及自身时，则需要改用“本标准”表述，当作为标准的部分发布时，则需要改用如“GB/T ×××××的本部分”或“本部分”表述。

⑥增加资料性内容，典型的资料性内容包括：对标准使用者的建议、培训指南、推荐的表格或报告等。这些资料性内容可以资料性附录或注等形式给出。需特别注意的是，这样的附录或注不应变更、增加或删除国际标准的规定，否则会使中国标准与国际标准产生技术性差异。

⑦删除国际标准中资料性概述要素，这种情况在采标时较多见。资料性概述要素包括封面、目次、前言和引言。在中国标准中，为了符合本国标准惯例，往往删除国际标准中原有的资料性概述要素。如封面，由于各国标准的封面都另有规定，除采用认可法以外，均需改用本国封面式样。前言也需要重新编写，可能会增加编辑性修改内容。所以删除国际标准中原有的资料性概述要素是常见的做法。

⑧增加单位换算的内容，中国标准中应采用中国法定的计量单位。如果使用与国际标准不同的计量单位制，则需在中国标准中增加单位换算的内容，例如增加一个有关单位换算的资料性附录。

2) 修改。“修改”程度的含义是：中国标准与国际标准之间允许存在技术性差异，这些差异应清楚地标明并给出解释。中国标准在结构上与国际标准相同，只有在不影响对中国标准和国际标准的内容及结构进行比较的情况下，才允许对文本结构进行修改。因此，对于“结构”的修改应当慎重。当确需对“结构”进行修改时，应在中国标准中列出与国际标准的结构对照表，例如，中国标准与国际标准相应的章条对照表。“修改”还可包括“等同”条件下的编辑性修改。

“修改”程度的中国标准与对应国际标准之间存在技术性差异，符合中国标准不表明符合对应的国际标准，即“反之亦然原则”不适用。

“修改”可包括如下情况：

①中国标准的内容少于相应的国际标准，例如，中国标准不如国际标准的要求严格，仅采用国际标准中供选用的部分内容。

②中国标准的内容多于相应的国际标准，例如，中国标准比国际标准的要求更加严格，增加了内容或种类，包括附加试验。

③中国标准更改了国际标准的一部分内容，中国标准与国际标准的部分内容相同，还有些部分的要求不同。

④中国标准增加了另一种供选择的方案，中国标准中增加了一个与相应的国际标准条款同等地位的条款，作为对该国际标准条款的另一种选择。

另外还有一种情况，中国标准可能包括相应国际标准的全部内容，还包括不属于该国际标准的一部分附加技术内容。在这种情况下，即使没有对所包含的国际标准做任何修改，其一致性程度也只能是“修改”或“非等效”。至于是“修改”还是“非等效”，取决于技术性差异是否被清楚地指明和解释。

3) 非等效。“非等效”的含义是：中国标准与相应国际标准在技术内容和文本结构上不同，同时它们之间的差异也没有被清楚地标明，还包括在中国标准中只保留了国际标准

中少量或不重要的条款的情况。

4) 与国际标准一致性程度及其代号（见表 3.1-2）。

表 3.1-2 与国际标准一致性程度及其代号

一致性程度	含 义	代号
等同 (identical)	中国标准与国际标准在技术内容和文本结构上完全相同；或者中国标准与国际标准在技术内容上相同，但可以包含 GB/T 20000.2—2001 的 4.2 条中规定的编辑性修改 “反之亦然原则”适用	IDT
修改 (modified)	允许中国标准与国际标准存在技术性差异，同时对技术性差异清楚地标明并给出解释，中国标准在结构上与相应的国际标准相同，只有在不影响对 2 个标准的内容及结构进行比较的情况下，允许对文本结构进行修改，还可包括“等同”条件下的编辑性修改 “反之亦然原则”不适用	MOD
非等效 (not equivalent)	中国标准与相应国际标准在技术内容和文本结构上不同，它们之间的差异也没有被清楚地标明 这种一致性程度不属于采用国际标准	NEQ

#### 1.3.4 IEC TC64 中国委员会——全国建筑物电气装置标准化技术委员会

与 IEC TC64 对口的中国委员会——全国建筑物电气装置标准化技术委员会是经国家质量监督检验检疫总局国家标准化管理委员会批准成立的全国性专业标准化技术工作组织（代号为 SAC/TC205）。该技术委员会负责我国建筑物电气装置领域的国家标准、行业标准的制定、修订工作，并负责与国际电工委员会的 64 技术委员会（IEC/TC64）对口的标准化技术业务工作。

目前全国建筑物电气装置标准化技术委员会已经在全国范围内形成了一支标准化的技术骨干队伍。全国建筑物电气装置标准化技术委员会由全国有关设计、科研、生产和大学的专家组成。

该标委会的主要工作任务是：在所负责的技术领域为制定对应于国际电工委员会 TC64 技术委员会工作范围的标准，以及对产品制造和安装运行提出本专业领域有关的建议和要求；在国家标准化法和有关方针政策指导下，向国家标准化行政主管部门和有关部门提出电气装置标准化工作的具体方针、政策和技术措施的建议；负责组织制定建筑物电气装置标准体系表，提出制定、修订建筑物电气装置标准的长远规划和年度计划的建议；协助国家有关部门组织建筑物电气装置国家标准的制定、修订工作和科研、技术开发工作；负责有关标准的宣贯、解释工作；受上级主管部门委托，在工程验收和评定等工作中，承担专业标准化范围内的标准工作水平评价工作；承担 IEC TC64 的对口标准化技术业务工作，包括对国际标准化文件的表态和投票表决，审查我国提案和国际标准的宣传贯彻、派员参加年会和有关会议等。

为了适应社会对我国建筑物电气装置领域的标准化工作的需要和我国加入 WTO 以后与国际标准接轨的需要，现在该标委会正在积极开展活动，一方面进行与 IEC TC64 对口的国际标准制定和投票表决工作，另一方面积极组织有关标准的制定、修订工作，到目前为止已经制定国家标准 34 项。

全国建筑物电气装置标准化技术委员会编制标准的目录见表 3.1-3。

表 3.1-3

全国建筑物电气装置标准化技术委员会编制标准目录

序号	国内标准编号	标准名称	国际标准编号	采标程度
电气装置和电气设备共同的电击防护基本安全要求				
1	GB/T 17045—2008	电击防护 装置和设备的通用部分	IEC 61140 : 2001	等同采用
电流通过人体和家畜的效应				
2	GB/T 13870.1—2008	电流通过人体和家畜的效应 第1部分:通用部分	IEC 60479-1 : 1994	等同采用
3	GB/T 13870.2—1997	电流通过人体的效应 第2部分:特殊情况	IEC 60479-2 : 1987	等同采用
4	GB/T 13870.3—2003	电流通过人和家畜的效应 第3部分:电流通过家畜躯体的效应	IEC 60479-3 : 1998	等同采用
建筑物电气装置的电气安全要求				
5	GB/T 16895.1—2008	低压电气装置 第1部分:基本原则、一般特性评估和定义	IEC 60364-1 : 2005	等同采用
6	GB 16895.21—2004	建筑物电气装置 第4-41部分:安全防护——电击防护	IEC 60364-4-41 : 1992	等同采用
7	GB 16895.2—2005	建筑物电气装置 第4部分:安全防护 第42章:热效应保护	IEC 60364-4-42 : 1980	等同采用
8	GB 16895.5—2000	建筑物电气装置 第4部分:安全防护 第43章:过电流保护	IEC 60364-4-43 : 1977	等同采用
9	GB 16895.11—2001	建筑物电气装置 第4部分:安全防护 第44章:过电压保护 第442节:低压电气装置对高压接地系统接地故障的保护	IEC 60364-4-442 : 1993	等同采用
10	GB 16895.12—2001	建筑物电气装置 第4部分:安全防护 第44章:过电压保护 第443节:大气过电压或操作过电压的保护	IEC 60364-4-443 : 1993	等同采用
11	GB/T 16895.16—2002	建筑物电气装置 第4部分:安全防护 第44章:过电压保护 第444节:建筑物电气装置中的电磁干扰(EMI)的防护	IEC 60364-4-444 : 1996	等同采用
12	GB/T 16895.10—2001	建筑物电气装置 第4部分:安全防护第45章:欠电压保护	IEC 60364-4-45 : 1984	等同采用
13	GB/T 16895.18—2002	建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第51章:通用规则	IEC 60364-5-51 : 1997	等同采用
14	GB 16895.6—2000	建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第52章:布线系统	IEC 60364-5-52 : 1993	等同采用
15	GB/T 16895.15—2002	建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第52章:布线系统 第523节:载流量	IEC 60364-5-523 : 1999	等同采用
16	GB 16895.4—1997	建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第53章:开关设备和控制设备	IEC 60364-5-53 : 1994 IEC 60364-5-537 : 1981	等同采用
17	GB 16895.3—2004	建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第54章:接地配置、保护导体和保护联结导体	IEC 60364-5-54 : 1980	等同采用
18	GB/T 16895.17—2002	建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第548节:信息技术装置的接地配置和等电位联结	IEC 60364-5-548 : 1996	等同采用
19	GB 16895.20—2003	建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第55章:其它设备 第551节:低压发电设备	IEC 60364-5-551 : 1994	等同采用
20	GB 16895.13—2002	建筑物电气装置 第7部分:特殊装置或场所的要求 第701节:装有浴盆或淋浴盆场所的电气装置	IEC 60364-7-701 : 1984	等同采用
21	GB 16895.19—2002	建筑物电气装置 第7部分:特殊装置或场所的要求 第702节:游泳池及其它水池电气装置	IEC 60364-7-702 : 1997	等同采用
22	GB 16895.14—2002	建筑物电气装置 第7部分:特殊装置或场所的要求 第703节:装有桑拿浴加热器场所的电气装置	IEC 60364-7-703 : 1984	等同采用
23	GB 16895.7—2000	建筑物电气装置 第7部分:特殊装置或场所的要求 第704节:施工和拆除场所的电气装置	IEC 60364-7-704 : 1989	等同采用
24	GB 16895.8—2000	建筑物电气装置 第7部分:特殊装置或场所的要求 第706节:狭窄的可导电场所	IEC 60364-7-706 : 1983	等同采用
25	GB/T 16895.9—2000	建筑物电气装置 第7部分:特殊装置或场所的要求 第707节:数据处理设备用电气装置的接地要求	IEC 60364-7-707 : 1984	等同采用
26	GB 16895.22—2004	建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第5-53部分:隔离、开关和控制设备 第534节:过电压保护电器	IEC 60364-5-53 : 2001 A1 : 2002	等同采用
27	GB/T 16895.23—2005	建筑物电气装置 第6-61部分:检验—初检	IEC 60364-6-61 : 2001	等同采用



续表

序号	国内标准编号	标准名称	国际标准编号	采标程度
28	GB 16895.24—2005	建筑物电气装置 第7-710部分：特殊装置或场所的要求——医疗场所	IEC 60364-7-710：2002	等同采用
29	GB 16895.25—2005	建筑物电气装置 第7-711部分：特殊装置或场所的要求——展览馆、陈列室和展位	IEC 60364-7-711：1998	等同采用
30	GB 16895.26—2005	建筑物电气装置 第7-740部分：特殊装置或场所的要求——游乐场和马戏场中的构筑物、娱乐设施和棚屋	IEC 60364-7-740：2000	等同采用
31	GB 16895.27—2006	建筑物电气装置 第7部分：特建装置或场所的要求 第705节：农业和园艺设施的电气装置	IEC 60364-7-705：1984	等同采用
其 他				
32	GB/T 18379—2001	建筑物电气装置的电压区段	IEC 60449：1973	等同采用
33	GB/T 3805—1993	特低电压（ELV）限值	IEC 61201：1992	等效采用
34	GB/T 2900-71—2008	电工术语 电气装置	IEC 60050-825：2005	等同采用

(贺湘琨)

## 1.4 低压电气装置常用术语和定义

### 1.4.1 电气装置的特性

1) 电气装置：相关电气设备的组合，具有为实现特定目的所需的相互协调的特性。

2) 电气装置受电点：电能馈入电气装置的点。

3) 环境温度：设备附近的空气或其他介质的平均温度。

4) 应急供电系统，安全设施供电系统：用来维持电气设备和电气装置运行的供电系统，主要是为了人体和家畜的健康和安全，和/或如果国家规范要求，为避免对环境或其它设备造成损失。

5) 应急电源，安全设施电源：用作应急供电系统组成部分的电源。

6) 应急电源电气回路，安全设施电气回路：用作应急供电系统组成部分的电气回路。

7) 备用供电系统：当正常供电中断时，由于非安全原因用来维持电气装置或其中一个或几个部分的功能所需的供电系统。

8) 备用电源：当正常电源断电时，由于非安全原因用来维持电气装置或其某些部分所需的电源。

### 1.4.2 电压和电流

1) 标称电压：用以标志和识别电气装置或其部件的电压值。

2) 故障电压：因绝缘损坏造成的故障的给定点和参考地之间的电压。

3) 预期接触电压：人或动物尚未接触到可导电部分时，这些可能同时触及的可导电部分之间的电压。

4) 约定接触电压限值：在规定的、外界影响条件下，允许无限定时间持续存在的预期接触电压的最大值。

5) [有效] 接触电压：人或动物同时接触到两个可导电部分之间的电压。

6) 线电压：电气回路中给定点处两个线（相）导体之间的电压。

7) 相电压：交流电气回路中给定点处线（相）导体与中性导体之间的电压。

8) 线对地电压：电气回路中给定点处线（相）导体与参考地之间的电压。

9) 故障电流：由于绝缘损坏而流经故障点的电流。

10) [持续] 载流量：导体、器件或电器在稳态温度不超过规定值的条件下所能持续承载的最大电流。

11) 过电流：超过额定电流的电流（对于导体，额定电流可认为等于载流量）。

12) 过负荷电流（电气回路的）：电气回路在非短路或接地故障时出现的过电流。

13) 短路电流：流经给定短路点的电流。

14) 约定动作电流（保护器件的）：使保护器件在规定的时间内动作的规定的电流值。

15) 约定不动作电流（保护器件的）：使保护器件在规定时间内不动作的规定电流值。

16) 剩余电流：同一时刻，在电气装置中的电气回路给定点处的所有带电体电流值的代数和。

17) 泄漏电流：正常运行状况下，在不期望的可导电路径内流过的电流。

18) 保护导体电流：出现在保护导体中的电流，如泄漏电流或由于绝缘损坏产生的电流。

### 1.4.3 电击和保护措施

1) 电击：电流通过人体或动物躯体而引起的生理效应。

2) 电击防护：减小电击危险的防护措施。

3) 直接接触：人或动物与带电部分的电接触。

4) 间接接触：人或动物与故障状况下带电的外露可导电部分的电接触。

5) 基本防护：无故障条件下的电击防护。对低压装置、系统和设备而言，基本防护通常对应于直接接触防护。

6) 故障防护：单一故障条件下的电击防护。对低压装置、系统和设备而言，故障防护通常对应于间接接触防护，主要与基本绝缘损坏有关。

7) 附加防护：基本防护和/或故障防护之外的保护措施。（附加防护通常用于可以避免或减轻由于特殊外界影响或特殊场所某些情况下，例如不慎用电时产生的致命的状况）。

8) 带电部分：正常运行中带电的导体或可导电部分，包括中性导体，但按惯例不包括 PEN 导体、PEM 导体和 PEL 导体。

9) 可导电部分：能传导电流的部分。

10) 外露可导电部分：设备上能触及的可导电部分，它在正常状况下不带电，但是在基本绝缘损坏时会带电。

11) 外界可导电部分，装置外可导电部分：非电气装置的组成部分，且易于引入电位的可导电部分，该电位通常为局部地电位。

12) 同时可触及部分：能够同时被人或动物接触到的导体或可导电部分（同时可触及部分可以是带电体、外露可导电部分、外界可导电部分、保护导体、土壤或导电的地板）。

13) 基本绝缘：能够提供基本防护的危险带电部分上的绝缘。

14) 附加绝缘：除了基本绝缘外，用于故障防护附加的



单独绝缘。

15) 双重绝缘:既有基本绝缘又有附加绝缘构成的绝缘。

16) 加强绝缘:危险带电部分具有相当于双重绝缘的电击防护等级的绝缘。

17) 自动切断电源:故障时,保护器件自动将受影响的一根或多根线导体断开。

18) 伸臂范围:从人通常站立或活动的表面上的任一点延伸到人不借助任何手段,从任何方向能用手达到的最大范围。

19) 外壳,外护物:能提供预期应用上相适应的防护类型和防护等级的外罩。

20) 电气外壳:为防止可预见到的电气危险而提供的外壳。

21) [电气] 保护外壳:为防护从任何方向接近危险带电部分并围住设备内部部件的电气外壳。

22) [电气] 保护遮栏:为防止从任一通常接近方向直接接触而设置的防护物。

23) [电气] 保护阻挡物:为防止无意的直接接触而设置的防护物,但并不防止有意的直接接触。

24) [电气] 保护屏蔽体:用以将电气回路和/或导体与危险带电部分隔开的导电的屏蔽体。

25) [电气] 保护屏蔽:用与保护等电位联结系统连接的电气保护屏蔽体,将电气回路和/或导体与危险带电部分隔开,并提供电击防护。

26) 电气分隔:将危险带电部分与所有其他电气回路和电气部件绝缘以及与局部地绝缘,并防止一切接触的保护措施。

27) 简单分隔:利用基本绝缘在电气回路之间或电气回路与局部地之间进行分隔。

28) [电气] 保护分隔。

借助于下列方法之一将一电气回路与另一电气回路分隔:

- ① 双重绝缘。
- ② 基本绝缘和电气保护屏蔽。
- ③ 加强绝缘。

29) 特低电压 (ELV):不超过 GB/T 18379 规定的有关 I 类电压限值的电压。

30) 安全特低电压系统, SELV 系统:电压不能超过特低电压的电气系统;在正常条件下,和在单一故障条件下,包括其他电气回路的接地故障。

31) 保护特低电压系统, PELV 系统:电压不能超过特低电压的电气系统;在正常条件下和在单一故障条件下,不包括其他电气回路的接地故障。

32) 非导电环境:当人或动物接触已变为危险带电的外露可导电部分时,依靠环境(如绝缘墙或绝缘地板)的高阻抗性和不存在接地的可导电部分来进行保护的措施。

#### 1.4.4 接地和联结

1) 参考地:不受任何接地配置影响的、视为导电的大地的部分,其电位约定为零。

2) [局部] 地:大地与接地极有电接触的部分,其电位不一定等于零。

3) 接地:在系统、装置或设备的给定点与局部地之间作电连接(与局部地之间的连接可以有意的、无意的或意外的,也可以是永久性的或临时性的系统)。

4) 接地配置,接地系统:系统、装置和设备的接地所

包含的所有电气连接和器件。

5) 接地极:埋入土壤或特定的导电介质(如混凝土或焦炭)中,与大地有电接触的可导电部分。

6) 接地网:接地配置的组成部分,仅包括接地极及其相互连接部分。

7) 独立接地极:与其他接地极之间保持一定距离,使其电位不受大地与其他接地极之间电流的显著影响的接地极。

8) 基础接地极:埋入建筑物基础下的土壤中或优先埋在建筑物基础的混凝土中的可导电部分,通常为闭合环路。

9) 保护接地:为了电气安全,将一个系统、装置或设备的一点或多点接地。

10) 功能接地:出于电气安全之外的目的,将系统、装置或设备的一点或多点接地。

11) [电力] 系统接地:电力系统的一点或多点的功能接地和保护接地。

12) 接地导体:在系统、装置或设备的给定点与接地极或接地网之间提供导电通路或部分导电通路的导体。在建筑物电气装置中,给定点通常是总接地端子,接地导体将该点与接地极或接地网相连接。

13) 地回路:由接地配置之间的大地和导体或可导电部分提供的导电路径。

14) 总接地端子,总接地母线:接地配置组成部分的端子或母线,用于多个接地导体的电气连接。

15) 等电位:几个可导电部分处于电位大体上相等的状态。

16) 等电位联结:为达到等电位,多个可导电部分间的电连接。

17) 保护等电位联结:为了安全目的进行的等电位联结。

18) 功能等电位联结:非安全目的而为运行原因进行的等电位联结。

19) 保护导体 (PE):为了安全目的,如电击防护中为了安全目的设置的导体(在电气装置中,PE 导体通常也被当作保护接地导体)。

20) 保护接地导体:用于保护接地的保护导体。

21) 保护联结导体:用于保护等电位联结的保护导体。

22) PEN 导体 (PEN), 保护接地中性导体:兼有保护接地导体和中性导体功能的导体。

23) PEM 导体 (PEM), 保护接地中间导体:兼有保护接地导体和中间导体功能的导体。

24) PEL 导体 (PEL), 保护接地线导体:兼有保护接地导体和线导体功能的导体。

25) 功能接地导体:用于功能接地的接地导体。

26) 功能联结导体:用于功能等电位联结的导体。

27) 等电位联结系统 (EBS):为实现可导电部分之间的等电位联结而将这些部分相互连接(如果等电位联结系统接地,它就成为接地配置的组成部分)。

28) 保护等电位联结系统 (PEBS):用于保护等电位联结的等电位联结系统。

29) 功能等电位联结系统 (FEBS):用于功能等电位联结的等电位联结系统。

30) 共用等电位联结系统,共用联结网 (CBN):用于保护等电位联结及功能等电位联结的等电位联结系统。

31) 等电位联结端子:设备或器件上用来与等电位联结系统进行电连接的端子。

32) 等电位联结母线: 作为等电位联结系统组成部分的母线, 它为了等电位目的能将多个导体进行电连接。

#### 1.4.5 电气回路

1) 电气回路 (电气装置的): 电气装置中电气设备的组合, 它由同一个 (组) 的保护器件提供过电流保护。

2) 配电回路: 为一个或多个配电盘供电的电气回路。

3) [建筑物] 终端回路, 分支回路: 直接为用电设备或插座供电的电气回路。

4) 中间点: 两个对称电路元件的公共点, 两元件的另一端与同一电路的不同线导体相连。

5) 中性点: 多相星型联结系统的公共点或单相系统的接地中间点。

6) 导体: 用于承载规定电流的可导电部分。

7) 中性导体: 电气上与中性点连接并能用于配电的导体。

8) 中间导体: 电气上与中间点连接并能用于配电的导体。

9) 线导体, 相导体 (交流系统), 极导体 (直流系统): 正常运行时带电并能用于输电或配电的导体, 但不是中性导体或中间导体。

10) 短路: 两个或多个可导电部分之间意外的或有意的形成的导电通路, 此通路迫使这些导电部分之间的电位差等于或接近于零。

11) 线对地短路: 在中性点直接接地系统或中性点经阻抗接地系统中发生的线导体和大地之间的短路。

12) 线间短路: 两根或多根线导体之间的短路, 在同一处它可伴随或不伴随线对地短路。

13) 接地故障: 带电导体和大地之间意外出现导电通路 [导电路径可能通过有瑕疵的绝缘, 通过结构物 (例如杆子、脚手架、起重机、梯子) 或通过植物 (如大树、灌木), 并具有显著的阻抗]。

14) 过电流保护器: 当电气回路中的电流在规定的时间内超过预定值时, 能够断开电气回路的器件。

15) 固有耐短路和接地故障 (的): 通过适当的设计和安装措施, 使电气设备或其组合具有防护短路和接地故障能力的。

#### 1.4.6 布线系统

1) 布线系统: 由一根或几根绝缘导体、电缆或母线及其固定部分构成的组合, 如果需要, 还包括其机械保护部分。

2) 建筑物孔道: 只能在某些点接近建筑物的结构或构件的空间 (例如隔断间、架空地板、天花板的空间和某种形式的窗框、门框和踢脚板。在建筑物的一个单元内特别形成的孔道, 也叫通道)。

3) 导管: 电气或电信装置中用于绝缘导线和/或电缆的圆形断面的封闭式布线系统部件, 导线或电缆可以从中穿入和/或更换 (导管要尽可能地紧密接合, 以使只能穿入绝缘导线和/或电缆, 而不能从其侧面插入)。

4) 电缆槽盒系统: 带有可移动盖子的底座组成的封闭外壳系统, 用于将绝缘导线、电缆、软电线完全包围起来, 和/或用于容纳包括信息技术设备在内的其他电气设备。

5) 电缆管槽系统: 用于电气装置中的绝缘导线、电缆和软电线的非圆形断面的封闭外护物系统, 导线或电缆可在其中穿入和/或更换。

6) 电缆沟: 布置在地面或楼板的上面或里面, 为敞开的、通风的或封闭的布线系统单元, 其尺寸大小不允许人员进入, 但在安装时及安装后沿其整个长度方向允许触及导管和/或电缆 (电缆沟可以是也可以不是建筑物结构的组成部分)。

7) 电缆隧道: 其尺寸大小允许人员沿其整个长度方向随意通过的走廊, 它包括电缆的支撑结构、接头和/或布线系统的其他构件。

8) 电缆托盘: 带有连续底盘和翻边, 但没有盖子的电缆支撑物 (电缆托盘可以是带孔的或是网格状的)。

9) 电缆梯架: 带有牢固地固定在纵向主支撑组件上的一系列横向支撑构件的电缆支撑物。

10) 电缆支架: 仅有一端固定的、间隔安置的水平电缆支撑物。电缆安放在其上。

#### 1.4.7 其他设备

1) 电气设备: 用于发电、变电、输电、配电或利用电能的设备, 例如电机、变压器、开关设备和控制设备、测量仪器、保护器件、布线系统和用电设备。

2) 用电设备: 用来将电能转换成其他形式的能量 (例如光能、热能、机械能) 的电气设备。

3) 开关设备和控制设备: 用于与电气回路连接, 执行下列一项或多项功能 (保护、控制、隔离、通断) 的电气设备。

4) 移动设备: 运行时可移动或在与电源相连接时易于由一处移到另一处的电气设备。

5) 手持设备: 正常使用时握在手中的电气设备。

6) 不易移动设备: 固定设备或没有设置手柄且具有一定的质量不易搬动的设备 (在有关家用电器的标准中, 不易移动的质量是 18kg)。

7) 固定设备: 与一个支持物牢固相接或被固定安装在指定地方的设备。

8) 配电盘: 包含有一条或多条进出线回路的不同形式的开关设备和控制设备的组合, 并具有中性导体和保护导体的端子。

#### 1.4.8 隔离和通断

1) 隔离: 因为安全原因而将整个电气装置或其个别部分与每个电源彻底断开的功能。

2) 机械维修分闸: 开关器件的分闸操作, 它使一台或多台通电的设备不运转, 其目的是避免在设备上发生非电作业时发生危险, 但不包括电击或燃弧危险。

3) 紧急分闸: 为了避免或减轻危险状况, 开关器件将电气装置的电源断开的操作。

4) 急停: 将已成为危险的运动状态尽快停止的操作。

5) 功能切换: 为了正常运行, 对电气装置或其一部分的供电进行通、断或转换操作。

#### 1.4.9 人的能力

1) 熟练 [电气] 人员: 具有相应教育和经验, 能察觉和避免由于电引起危害的人员。

2) 受过培训的 [电气] 人员: 由熟练电气人员充分指导和监督的, 能察觉和避免由于电引起危害的人员。

3) 一般人员: 既不是熟练人员, 也不是受过培训的人员。

4) 限制接近区域: 只有熟练电气人员和受过培训的电气人员才可进入的区域。

(黄妙庆)

## 第2章 电流通过人体的效应

就通过人体的一条给定通路电流而言,对人的危险主要取决于电流的量值和通电时间。但是在许多情况下,所规定的时间/电流区域实际上并不直接用于防电击保护设计。必须以时间为函数的接触电压的允许极限值作为判据(即通过人体的电流与人体阻抗的乘积)。由于人体的阻抗随接触电压而变化,所以电流与电压的关系不是线性的,因此需要给出其关系数据。人体的不同部分如皮肤、血液、肌肉、其他组织和关节对电流呈现的阻性及容性分量组成的一定阻抗。其阻抗值取决于若干因素,特别是电流通路、接触电压、通电时间、频率、皮肤潮湿程度、接触表面积、施加的压力和温度。以电气装置最常用的50~60Hz频率电流效应的有关研究结果为依据,但所给出的数据被认为可适用于15~100Hz频率范围,在此范围起始端频率的阈值则比50Hz和60Hz的阈值为高。在任何情况下都应首要考虑心室纤维性颤动的危险,因为它是致命事故的主要原因。

从直流应用的数量来看,直流发生的事故比预期的要少得多。只有在其非常不利的情况下,例如在矿井中才会发生致命事故;部分原因是被抓住的直流带电体较易于摆脱,以及当电击持续时间大于心搏周期时,直流电流的心室纤维性颤动阈比交流的要高得多。

交流与直流对人体效应的主要差别,在于电流的刺激作用(刺激神经和肌肉、诱发心房或心室纤维性颤动)与电流的量值变化大小有关,特别是在接通和断开电流的时候,要产生相同的刺激效应,恒定的直流电流量值的强度要比交流电流大2~4倍。

### 1 人体的电阻抗

人体电阻抗值是接触电压、频率、皮肤潮湿程度、电流通路和接触面积的函数。

有关人体阻抗略图如图3.2-1所示。

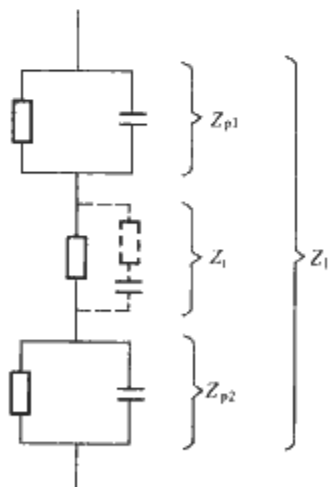


图 3.2-1 人体阻抗的等效电路  
 $Z_i$ —人体内阻抗;  $Z_{p1}$ 、 $Z_{p2}$ —皮肤阻抗;  
 $Z_T$ —人体总阻抗

#### 1.1 人体内阻抗 ( $Z_i$ )

人体内阻抗大部分可认为是阻性的,其数值主要由电流

通路决定,与接触表面积的关系较小。测量表明人体内阻抗存在很少的容性分量(见图3.2-1中的虚线)。如图3.2-2所示为人体不同部位的内阻抗,是以一手到一脚为通路的阻抗的百分数表示。

当电流通路为手至手或一手至双脚时,阻抗主要位于四肢(手臂和腿)上。若略去人体躯干的阻抗,可得出如图3.2-3所示的简化电路图。为简化电路图,假定手臂和腿的阻抗值相同。

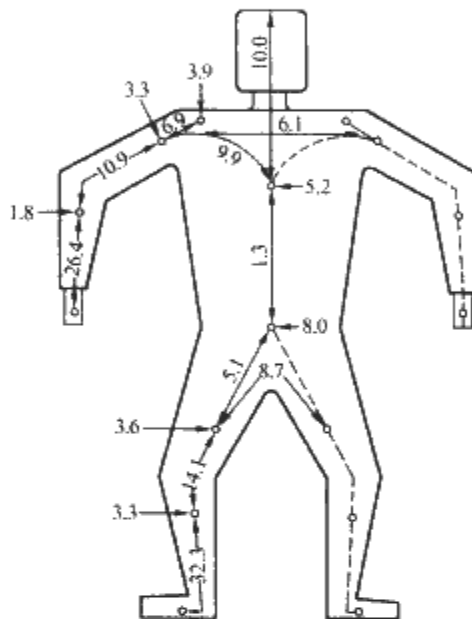


图 3.2-2 以百分数表示的人体内阻抗  
注:1. 图中的数字为人体各有关部位的人体内阻抗,以通路为一手至一脚的阻抗的百分数表示。  
2. 计算某一通路人体的总阻抗时,该电流通路中身体所有部分的内阻抗以及接触面积下的皮肤阻抗需一齐相加。

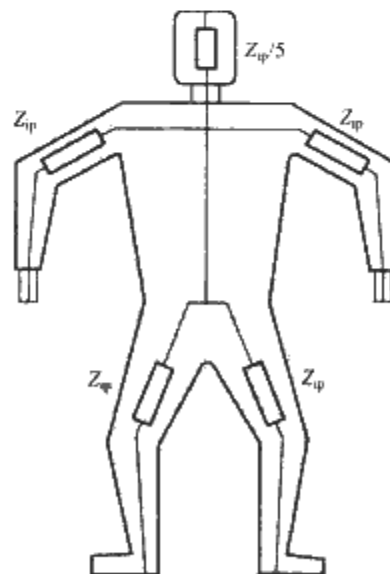


图 3.2-3 人体内阻抗简化示意图  
 $Z_{tp}$ —一个肢体部分的内阻抗(手臂或腿)—手至双肩的内阻抗相当于手至手或一手至一脚阻抗的75%;双手至双脚的阻抗相应为50%;双手至躯干则相应为25%

1.2 皮肤阻抗 ( $Z_p$ )

皮肤阻抗可视为由半绝缘层和许多小的导体（毛孔）组成的电阻和电容的网络。当电流增加时皮肤阻抗下降，有时可见到电流的痕迹。

皮肤的阻抗值取决于电压、频率、通电时间、接触面积、接触压力、皮肤的潮湿程度、皮肤的温度和种类。

接触电压约在交流 50V 及以下时，皮肤的阻抗值随接触面积、温度、汗分泌、呼吸急促程度等而变化很大，即使同一人也如此。

接触电压约超过 50V 时，皮肤阻抗降低相当大，并且在皮肤击穿时可忽略不计。

至于频率的影响，当频率增加时，皮肤阻抗减少。

1.3 人体初始电阻 ( $R_0$ )

在接触电压出现的瞬间，人体电容尚未充电，所以皮肤阻抗  $Z_{p1}$  和  $Z_{p2}$  可忽略不计，故初始电阻  $R_0$  大约等于人体内阻抗  $Z_i$ （见图 3.2-1）， $R_0$  主要取决于电流通路，与接触表面的关系较少。

初始电阻  $R_0$  限制了短脉冲电流的峰值（例如来自电栅栏控制器的电击）。

电流通路为手到手或手到脚并且大接触面积时的人体，初始电阻值对被测对象 5% 的人来说可取作 500Ω。

1.4 人体总阻抗值 ( $Z_T$ )

人体总阻抗由阻性分量和容性分量组成。

接触电压约在 50V 及以下时，由于皮肤阻抗  $Z_p$  的变化很大，人体的总阻抗  $Z_T$  也同样有很大的变化；接触电压越高，人体总阻抗越来越不取决于皮肤阻抗。当皮肤被击破后，总阻抗接近于内阻抗  $Z_i$ 。

关于频率的影响，计及皮肤阻抗与频率的依从关系，人体总阻抗在直流时较高，且随着频率增加而减小。

在电压 50V 及以下时，用淡水润湿的接触面所测得的数值比干燥状态下低 10%~25%；而用导电溶液润湿接触面时阻抗降低为干燥状态下的一半。

在电压高约 150V 以上时，人体总阻抗与湿度和接触面积的关系越来越小。

适用于成人的人体总阻抗值见表 3.2-1。其电流通路为手到手在大的接触面积（数量级为 10 000mm<sup>2</sup>），并且是在干燥状况。

表 3.2-1 干燥条件，大的接触表面积，50/60Hz  
交流电流路径为手到手的人体总阻抗  $Z_T$

接触电压 (V)	不超过下列三项的人体阻抗 $Z_T$ 值 (Ω)		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	1750	3250	6100
50	1375	2500	4600
75	1125	2000	3600
100	990	1725	3125
125	900	1550	2675
150	850	1400	2350
175	825	1325	2175
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900

续表

接触电压 (V)	不超过下列三项的人体阻抗 $Z_T$ 值 (Ω)		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050
渐近值=内阻抗	575	775	1050

- 注 1. 有些测定表明，电流路径为一手到一脚的人体总阻抗，稍低于电流路径为手到手的人体总阻抗（10%至 30%）。  
2. 对于活人的  $Z_T$  值，相应于电流的持续时间约为 0.1s。对于更长的持续时间， $Z_T$  值可能减少（约 10%至 20%），而当皮肤完全破裂后，则  $Z_T$  接近于内阻抗  $Z_i$ 。  
3. 对于电压为 230V 的标准值（网络—系统 3L+N—230/400V），可以假设人体的总阻抗值与接触电压为 225V 时相同。  
4.  $Z_T$  值被舍入到 25Ω。

2 15~100Hz 范围内正弦交流电流的效应

除非另有说明，文中所涉及的电流值皆为方均根值（r. m. s. 值）。

2.1 感知阈和反应阈

感知阈和反应阈取决于若干参数，如人体与电极接触的面积、接触的状态（干、湿、压力、温度），也和个人的生理特点有关。反应阈采用的是通用值为 0.5mA，与时间无关。

2.2 摆脱阈

摆脱阈取决于若干参数，如接触面积、电极的形状和尺寸，而且也 and 个人的生理特点有关。摆脱阈采用的是平均值，约为 5mA。

2.3 心室纤维性颤动阈

心室纤维性颤动阈取决于生理参数（人体解剖特点、心脏功能状态等）和电气参数（通电时间和通路、电流种类等）。

通过 50Hz 或 60Hz 正弦交流电流时，如果电流持续时间超 1 个心搏周期，则纤维性颤动阈显著降低。这种效应是由于电流诱发心脏期外收缩，使心脏不协调的兴奋状态加剧而引起。只要电击发生在易致颤期内，时间不到 0.1s，500mA 以上的电流就有可能引起纤维性颤动；而数安培数量级大小的电流就很有可能引起纤维性颤动。这样强度的电击持续超过一个心搏周期时，可引起可逆的心脏停跳。

把动物实验所得的结果应用于人类，可得出一条通用的曲线  $c_1$ （见图 3.2-4），其通路为从左手到双脚，在此曲线以下纤维性颤动不大可能发生。曲线在一短期高水平电流段是一条下降线，其时间为 10~100ms 之间；电流为 500mA 到 400mA 之间；曲线的低水平电流段是依据电气事故资料得出的一条持续时间超过 1s 的下降线，从 50mA 起至 40mA，持续时间超过 3s。把这两段曲线用一光滑曲线连接。

将动物实验的结果加以统计分析后，可得出纤维性颤动概率分别为 5%和 50%的曲线  $c_2$  和曲线  $c_3$ （见图 3.2-4），相应于  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  曲线的电流通路均为左手到双脚。

2.4 电流的其他效应

心室纤维性颤动被认为是电击致死的主要原因，但也有些因窒息或心跳停止而死的。可能发生许多病理生理效

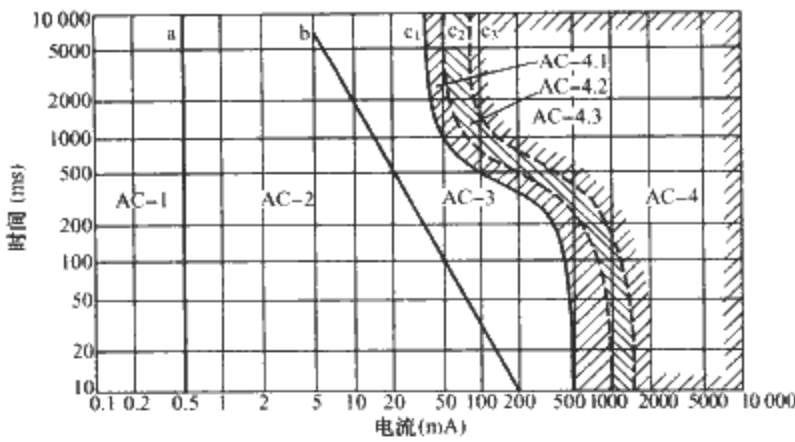


图 3.2-4 交流 15~100Hz 电流效应的  
时间/电流区域图

注：本图所示的心室纤维性颤动效应曲线中，电流通路为左手到双脚，其他电流通路的效应表 3.2-3。

应，如肌肉收缩、呼吸困难、血压升高，在心脏内心电冲动的形成和传导的紊乱，包括心房纤维性颤动和心脏短暂停搏等，但无心室纤维性颤动。这些效应并不致命，通常是可以恢复的，但可能出现电流伤痕。

当电流达数安培的时间数安培持续超过数秒，则很可能发生内部烧伤或其他严重损伤，可能是内伤，甚至死亡。

2.5 时间/电流区域的说明

如图 3.2-4 所示由通电时间和人体流过的电流值所界定的人体电流效应的 4 个区域。各区域的说明见表 3.2-2。

表 3.2-2 15~100Hz 正弦交流电的时间/电流区域

区域符号	区域界限	生理效应
AC-1	一直到线 a 0.5 mA	通常无反应
AC-2	自线 a 0.5 mA 至线 b <sup>①</sup>	通常无有害的生理效应
AC-3	自线 b 至曲线 c <sub>1</sub>	通常预计无器质性损伤。当通电时间超过 2s 以上时，很可能发生肌肉痉挛状的收缩，呼吸困难 随着电流量值和通电时间增加，心脏内心电冲动的形成和传导有可恢复的紊乱，包括心室纤维性颤动的心脏短暂停搏，但不发生心室纤维性颤动
AC-4	在曲线 c <sub>1</sub> 以右	除出现区域 3 效应外，电流量值和通电时间再增加，还可以出现如心室纤维性颤动、心跳停止、呼吸停止、严重烧伤等危险的病理生理效应
AC-4-1	c <sub>1</sub> 到 c <sub>2</sub>	心室纤维性颤动概率可增加到 5%
AC-4-2	c <sub>2</sub> 到 c <sub>3</sub>	心室纤维性颤动概率可增加到 50%
AC-4-3	超过曲线 c <sub>3</sub>	心室纤维性颤动概率超过 50%

①当通电时间小于 10ms 时，线 b 的人体电流的限值仍保持为恒定值 200mA。

2.6 心脏电流系数 F 的应用

心脏电流系数是指电流通过人体的某一路径在心脏内所产生的电场（电流密度），与从左手到双脚流过相同量值的电流在心脏内所产生的电场强度（电流密度）之比。

心脏电流系数可用以计算除左手到双脚的电流通路以外的电流 I<sub>b</sub>，此电流与图 3.2-4 中的左手到双脚电流 I<sub>ref</sub>具有

同样心室纤维性颤动的危险。

在心脏内，电流密度与电场成正比，因此，心脏电流系数 F 可用下式表示

$$F = I_{ref} / I_b$$

式中，I<sub>ref</sub>为图 3.2-4 中通路为左手到双脚通过人体的电流，A；I<sub>b</sub>为表 3.2-3 中各通路通过人体的电流，A；F 为表 3.2-3 中的心脏电流系数。

对于不同的电流通路，心脏电流系数见表 3.2-3。

表 3.2-3 不同电流通路的心脏电流系数 F

电流通路	心脏电流系数 F	电流通路	心脏电流系数 F
左手到左脚、右脚或双脚	1.0	后背到右手	0.3
双手到双脚	1.0	后背到左手	0.7
左手到右手	0.4	胸部到右手	1.3
右手到左脚、右脚或双脚	0.8	胸部到左手	1.5
		臀部到左手、右手或双手	0.7

心脏电流系数可以用来估计电流通过各种通路发生心室纤维颤动的危险程度。

例如：对左手到右手的电流通路流过了 200mA 的电流，由表 3.2-3 查得 F=0.4。200mA 产生心室纤颤的危险程度应与左手到脚通过 200mA×0.4=80mA 所产生的心室纤颤的危险程度等同。

3 直流电流效应

“直流电流”本应指无纹波电流，但对本节所述纤维性颤动效应的数据而言，直流电流含 10% 以下的正弦波方均根值也是适用的。

3.1 感知阈和反应阈

感知阈和反应阈取决于若干参数，如接触面积、接触状况（干、湿、压力、温度）、通电时间和个人的生理参数。与交流不同，在感知阈水平时，直流电流只有在接通和断开时才有感觉，而在电流流过期间不会有其他感觉。在与交流类似的研究条件下测得的反应阈约为 2mA。

3.2 摆脱阈

与交流不同，直流没有确切的摆脱阈，只有在电流接通和断开时，才会引起肌肉疼痛和痉挛状收缩。

3.3 心室纤维性颤动阈

为了解直流电流效应应了解如下概念：

纵向电流：纵向流过人体躯干（如从手到脚）的电流。

横向电流：横向流过人体躯干（如从手到手）的电流。

向上电流：以脚为正极流过人体的直流电流。

向下电流：以脚为负极流过人体的直流电流。

和交流效应一样，直流电的纤维颤动阈也取决于人的生理参数和电气参数。

由电气事故资料得知，通常纵向电流才会有心室纤维颤动的危险，至于横向电流，不大可能发生心室纤维性颤动。

从动物试验和电气事故资料得知，向下电流的纤维性颤动阈约为向上电流的 2 倍。

电击时间长于一个心搏周期时，直流的纤维性颤动阈比交流要高好几倍。当电击时间短于 200ms 时，其纤维性颤动阈和交流的方均根值大致相同。



比照交流的时间/电流区域(见图3.2-4),将动物实验的结果应用于人类,可建立一组应用于纵向、向上电流的曲线。在曲线 $c_1$ (见图3.2-5)以下纤维性颤动不大可能性发生。曲线 $c_2$ 和 $c_3$ (见图3.2-5)的纤维性颤动概率分别为5%与50%。当电流为纵向、向下电流时,须将这些曲线乘以系数2把电流值提高。

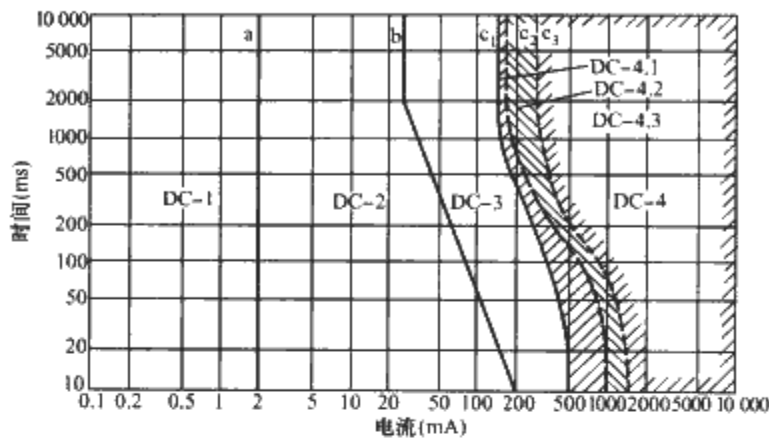


图 3.2-5 直流电流效应的时间/电流区域图

注:本图的心室纤维性颤动效应,其电流通路为左手到双脚,纵向、向上电流。

### 3.4 其他电流效应

接近 300mA 时,通电期间四肢有热感,接触面皮肤内有疼痛。当 300mA 以下的横向电流,流过人体持续几小时,随着时间和电流量的增加,可引起可以恢复心律失常、电流伤痕、烧伤、头晕及有时失去知觉。超过 300mA 后,往往失去知觉。

持续时间超过数秒的数安电流,易引起内部烧伤或其他伤害,甚至死亡。

### 3.5 时间/电流区域说明

直流电流的时间/电流区域说明见表 3.2-4。

表 3.2-4 直流电流的时间/电流区域说明

区域代码	区域界限	生理效应
DC-1	一直到线 a 2mA	通常无反应。在开关接通或断开时,有轻微针扎痛
DC-2	自线 a 2mA 至线 b	通常无有害的生理效应
DC-3	自线 b 至曲线 $c_1$	通常不会发生器质性损伤。随着电流量和通电时间增加,可能发生心脏内心电冲动的形成和传导有可以恢复的紊乱
DC-4	在曲线 $c_1$ 以右	随电流量和通电时间再增加,除出现区域 3 效应外,还可能发生如心室纤维性颤动、严重烧伤等危险的病理生理效应
DC-4-1	$c_1$ 到 $c_2$	心室纤维性颤动概率可增加至 5%
DC-4-2	$c_2$ 到 $c_3$	心室纤维性颤动概率可增加至 50%
DC-4-3	超过曲线 $c_3$	心室纤维性颤动概率超过 50%

注 当通电时间小于 10ms 时,线 b 的人体电流的限值仍保持为恒定值 200mA。

## 4 频率 100Hz 以上的交流电流的效应

在现代电气设备中,越来越多地使用频率高于 50/60Hz 的交流电,例如飞机(400Hz)、电动工具及电焊(多数用

到 450Hz)、电疗(多数使用 4000~5000Hz)、开关电源(20kHz~1MHz)。

本节所提供的资料可以用来评价所涉及各频率范围内的危险程度,同时还要注意到人体皮肤的阻抗对于约为几十伏的接触电压,大致与频率成反比地降低,因此,500Hz 时的皮肤阻抗大约仅为 50Hz 时的皮肤阻抗的十分之一,在很多情况下是可以忽略不计的。在更高频率时,情况更是如此。因此,在这些频率时,人体阻抗降为其内阻抗  $Z_i$ 。

频率为  $f$  时产生的相应生理效应的阈电流值与 50/60Hz 的阈电流值之比,称为频率系数  $F_f$ 。

### 4.1 频率范围在 100~1000Hz (含) 的交流电流的效应

1) 感知阈。感知阈的频率系数如图 3.2-6 所示。

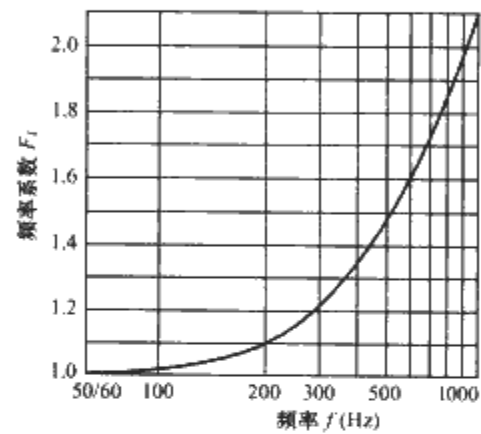


图 3.2-6 50/60Hz~1000Hz 频率范围内感知阈值的变化

2) 摆脱阈。摆脱阈的频率系数如图 3.2-7 所示。

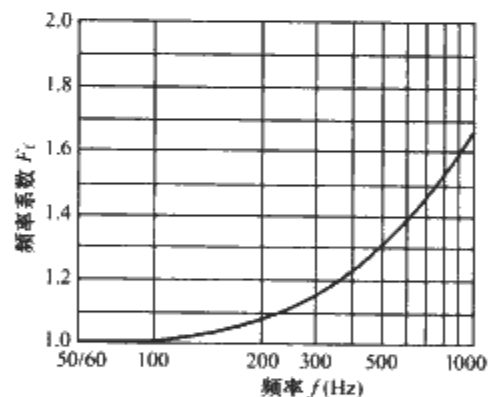


图 3.2-7 50/60Hz~1000Hz 频率范围内摆脱阈值的变化

3) 心室纤维性颤动阈。在电击持续时间大于一个心搏周期,且以纵向电流通路通过人体躯干时,心室纤维性颤动阈的频率系数如图 3.2-8 所示。

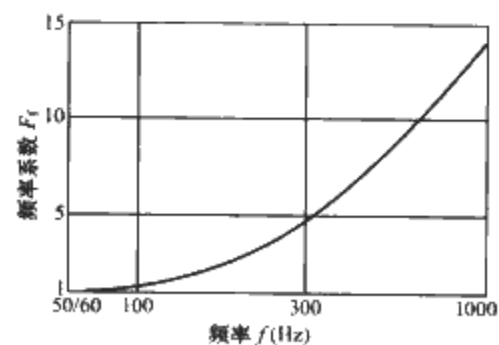


图 3.2-8 50/60Hz~1000Hz 频率范围内心室纤维性颤动阈值的变化(电击持续时间长于一个心搏周期并以纵向电流路经过人体躯干)



电击持续时间小于一个心搏周期时,尚无实验数据可利用。

#### 4.2 频率范围在 1000~10 000Hz(含)的交流电流的效应

- 1) 感知阈。感知阈的频率系数如图 3.2-9 所示。
- 2) 摆脱阈。摆脱阈的频率系数如图 3.2-10 所示。
- 3) 心室纤维性颤动阈。心室纤维颤动阈值未确定。

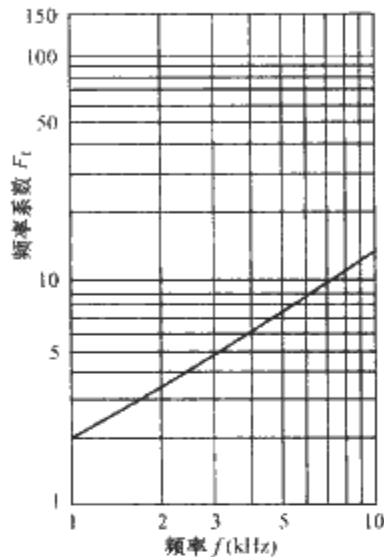


图 3.2-9 1000~10 000Hz 频率范围内感觉阈值的变化

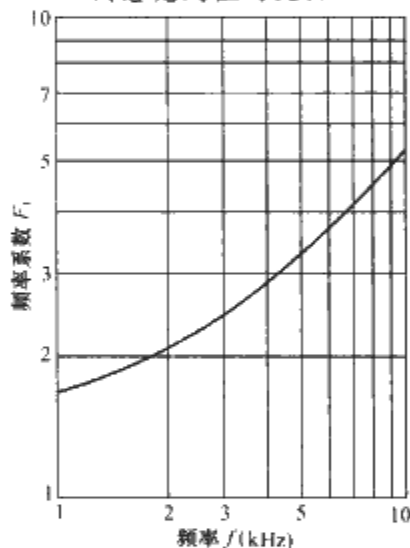


图 3.2-10 1000~10 000Hz 频率范围内摆脱阈值的变化

#### 4.3 频率范围在 10 000Hz 以上的交流电流的效应

- 1) 感知阈。频率在 10~100kHz 之间时,感知阈大约由 10mA 上升到 100mA (方均根)。频率在 100kHz 以上、电流强度约为数百毫安时,感知由较低频率时特有的刺痛感转变为一种温热感。
- 2) 摆脱阈。频率在 100kHz 以时,关于摆脱阈既无实验数据,也无事故报道。
- 3) 心室纤维性颤动阈。频率在 100kHz 以上时,关于心室纤维性颤动阈既无实验数据,也无事故报道。
- 4) 其他效应。频率在 100kHz 以上且电流在安培数量级时,可能会发生烧伤。依电流的持续时间而定。

#### 5 特殊波形电流的效应

由于电子控制装置正在大量得到应用,对由交流电和直流电形成的特殊波形的电流,特别是在绝缘故障下引起的这种电流,人们表现出格外的关注。对采用带相位控制和多周波控制的交流电的设备也是如此。

正如所预期的那样,这种电流对人体的效应介于直流电流效应和交流电流效应之间,因此就能确定有关心室纤维性颤动的等效电流的量值。

#### 5.1 具有直流分量的正弦交流电流的效应

1) 波形和频率。电流的波形如图 3.2-11 所示。图上绘有纯直流和纯交流,以及交流与直流不同比例的复合波形。下列的各电流量值必须加以区别:  $I_{rms}$  是合成波形的电流的方均根值,  $I_p$  是合成波形的电流的峰值,  $I_{pp}$  是合成波形的电流的峰-峰值,  $I_{ev}$  是与所涉及的波形在心室纤维性颤动方面有相同危险的正弦电流的方均根值。电流  $I_{ev}$  用来代替人体电流  $I_B$ ,以估计心室纤维性颤动的危险。

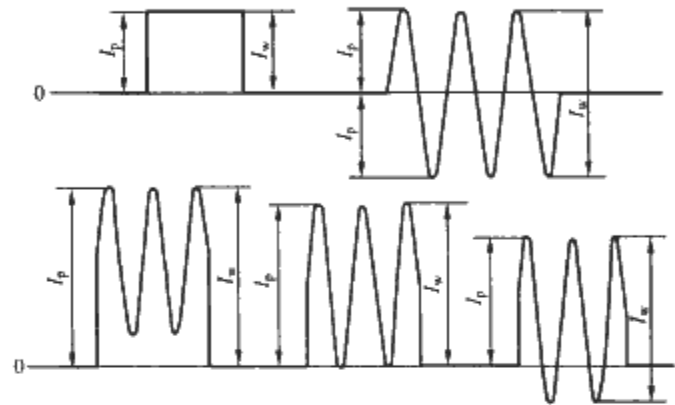


图 3.2-11 电流的波形

2) 感知阈。感知阈取决于若干参数,诸如人体与电极接触的面积(接触面积)、接触条件(干燥、潮湿、压力、温度),而且还取决于个人的生理特点。

感知阈值未确定。

3) 摆脱阈。摆脱阈取决于若干参数,诸如接触面积、电极的形状和尺寸,而且还取决于个人的生理特点。

摆脱阈值未确定。

4) 心室纤维性颤动阈。

① 含有特定的交流与直流比例的波形。这种波形电流的心室纤维性颤动危险可看作与具有下列特性的等效交流电流  $I_{ev}$  的危险大致相同:

a. 电击持续时间大于约 1.5 倍心搏周期时,  $I_{ev}$  为与所涉及波形的电流有相同峰-峰值  $I_{pp}$  的电流的方均根值为

$$I_{ev} = I_{pp} / 2\sqrt{2}$$

b. 电击持续时间小于约 0.75 倍心搏周期时,  $I_{ev}$  为与所涉及波形的电流有相同峰值  $I_p$  的电流的方均根值为

$$I_{ev} = I_p / \sqrt{2}$$

交流与直流的比例变得越小,这一对比关系就越不适用。对于持续时间小于 0.1s 的纯直流电击,其阈值等于相应的交流电流方均根值。

c. 电击持续时间在 0.75~1.5 倍心搏周期的范围内,电流幅值参数由峰值向峰-峰值变化。发生这种转变的特性细节有待进一步研究。

② 整流交流电流的实例如图 3.2-12 所示半波和全波整流的波形。这些波形的电流峰值等于其峰-峰值。

等效交流电流  $I_{ev}$  由下列公式确定:

a. 持续时间大于 1.5 倍心搏周期时

$$I_{ev} = I_{pp} / 2\sqrt{2} = I_p / 2\sqrt{2}$$

因此,对于半波整流,  $I_{ev}$  与整流电流的方均根值  $I_{rms}$  的关系为

$$I_{ev} = I_{rms} / \sqrt{2}$$

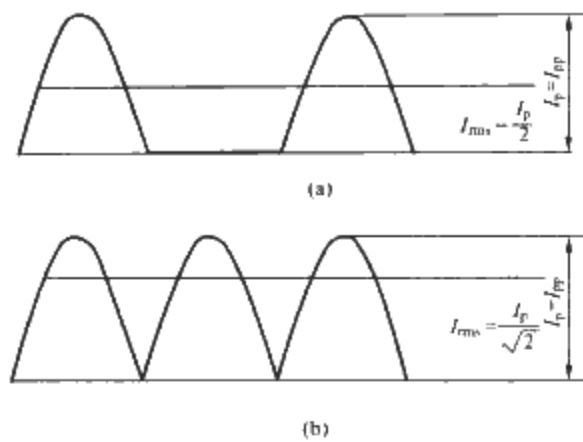


图 3.2-12 整流交流电流的波形  
(a) 半波整流; (b) 全波整流

而对于全波整流, 则为

$$I_{ev} = I_{rms}/2$$

b. 持续时间小于 0.75 倍心搏周期时

$$I_{ev} = I_{pp}/\sqrt{2} = I_p/\sqrt{2}$$

因此, 对于半波整流,  $I_{ev}$  与整流电流的方均根值  $I_{rms}$  的关系为

$$I_{ev} = \sqrt{2}I_{rms}$$

而对于全波整流, 则为

$$I_{ev} = I_{rms}$$

## 5.2 具有相位控制的交流电流的效应

1) 波形和频率。对称和非对称控制的两种波形如图 3.2-13 所示。

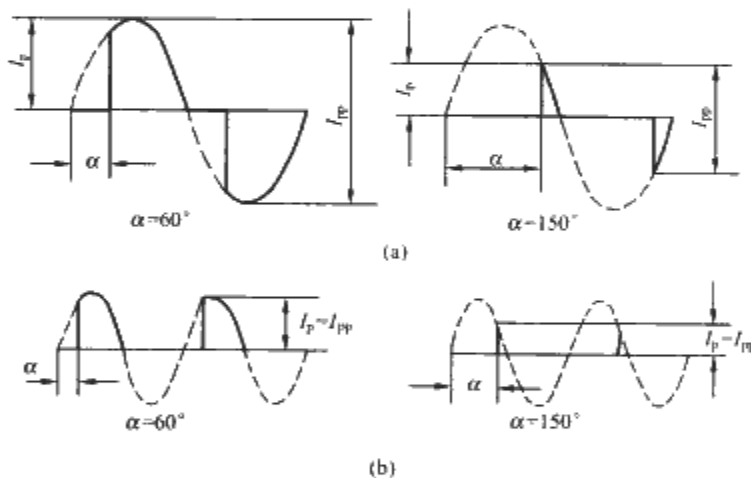


图 3.2-13 具有相位控制的交流电流的波形  
(a) 对称控制; (b) 非对称控制

2) 感知阈和摆脱阈。如前面第 2 章 5.1 中的 2) 和 3) 所述, 这些阈值取决于不同的参数。

这种电流在产生感觉或抑制摆脱方面的效应与具有相同峰值  $I_p$  的纯交流电流的效应大致相同。相位控制角在  $120^\circ$  以上时, 峰值因电流的持续时间减少而增加。

3) 心室纤维性颤动阈。对称和非对称波形的阈值各不相同。

① 对称控制。这种波形电流的心室纤维性颤动危险可看作与具有下列特性的等效交流电流  $I_{ev}$  的危险大致相同:

a. 电击持续时间大于约 1.5 倍心搏周期的,  $I_{ev}$  具有与所涉及波形的电流相同的方均根值。

b. 电击持续时间小于约 0.75 倍心搏周期时,  $I_{ev}$  为与所涉及波形的电流有相同峰值的电流方均根值。相位控制角在  $120^\circ$  以上时, 预期心室纤维性颤动阈会提高。

c. 持续时间在 0.75~1.5 倍心搏周期的范围内, 电流幅值参数由峰值向方均根值变化。发生这种转变的特性细节

有待进一步研究。

② 非对称控制。这种波形电流的心室纤维性颤动危险可看作与具有下列特性的等效交流电流  $I_{ev}$  的危险大致相同:

a. 电击持续时间大于约 1.5 倍心搏周期时, 正在考虑中。

b. 电击持续时间小于约 0.75 倍心搏周期时,  $I_{ev}$  为与所涉及波形的电流有相同峰值的电流的方均根值。相位控制角在  $120^\circ$  以上时, 预期心室纤维性颤动阈会提高。由非对称控制产生的电流还会有直流分量。

## 5.3 具有多周波控制的交流电流的效应

1) 波形和频率。功率控制度  $P=0.67$  的波形如图 3.2-14 所示。

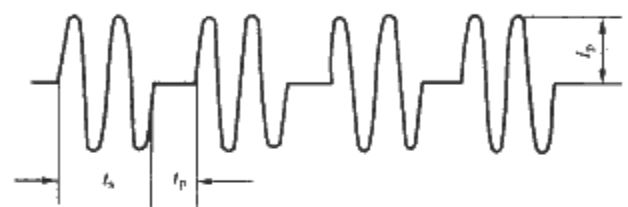


图 3.2-14 具有多周波控制的交流电流的波形  
 $t_s$ —导通时间;  $t_p$ —不导通时间;  $t_s+t_p$ —工作周期

不要把  $I_{1rms}$  与工作周期期间的电流的方均根值  $I_{2rms}$  ( $=I_{1rms}\sqrt{P}$ ) 相混淆。

$I_{rms} = I_p/\sqrt{2}$  = 电流导通期间的电流的方均根值

2) 感知阈和摆脱阈。如前面第 2 章 5.1 中的 2)、3) 和第 2 章 5.2 中的 2) 所述, 这些阈值取决于不同的参数。

感知阈值和摆脱阈值未确定。

3) 心室纤维性颤动阈。具有多周波控制的交流电流的危险程度是等于还是小于具有同样电击持续时间和电流量的交流电流的危险程度, 依电击持续时间和功率控制度而定。在猪体上测得的各种功率控制度的心室纤维性颤动阈如图 3.2-15 所示。

① 电击持续时间大于约 1.5 倍心搏周期时, 该阈值取

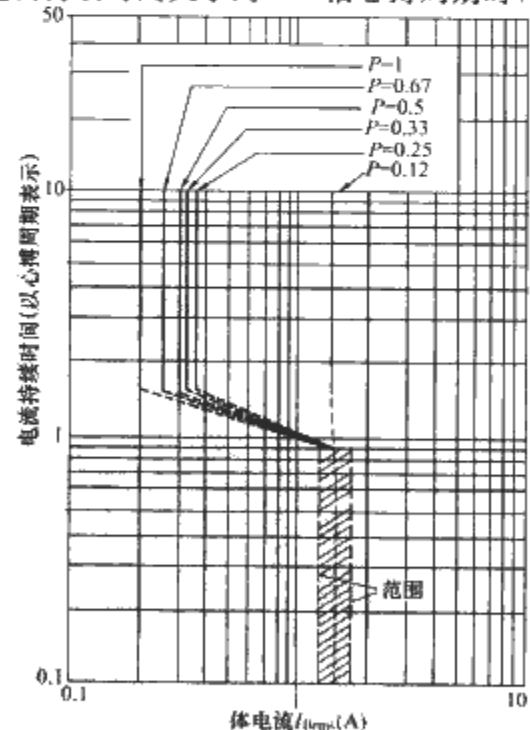


图 3.2-15 各种功率控制度的多周波控制交流电流的心室纤维性颤动阈 (平均值)  
(用幼猪进行实验的结果)

注: 体电流  $I_{B rms}$  为电流导通期间电流的方均根值  $I_{1 rms}$ 。

决于功率控制度  $P$ 。在  $P$  接近于 1 时,它与同样持续时间的正弦交流电流的方均根值相同。在  $P$  接近于 0.1 时,电流导通期间的电流方均根值  $I_{\text{rms}}$  与持续时间小于 0.75 倍心搏周期的交流电流的阈值相同。 $P$  为中间各值时,心室纤维性颤动阈由低水平段向电击持续时间小于 0.1s 时所示的高水平段上升。

② 电击持续时间小于约 0.75 倍心搏周期时,电流导通期间的电流的方均根值  $I_{\text{rms}}$  与同样持续时间的正弦交流电流的方均根值相同。

## 6 短时间单向单脉冲电流的效应

在装有电子元件的电器发生绝缘故障的情况下,或当触及这类设备的带电部分时,矩形和正弦形脉冲或电容器放电形式的短时间单向单脉冲电流可能是一种危险源。因此,确定这类电流的危险界限至关重要。

电击持续时间为 10ms 时,本节所述的效应相当于以上所述给出的效应,因此包括了电击持续时间由 0.1ms 至 10s 的整个范围和几乎所有具有技术意义的电流波形。本节的内容以科学研究导出的假定为依据,即就持续时间直至 10ms 的电击来说,对于各种形式的单向脉冲电流,引发心室纤维性颤动的主要因素是  $I_t$  或  $I^2 t$  值。

### (1) 波形

矩形脉冲、正弦形脉冲电流的波形和电容器放电的电流波形如图 3.2-16 所示。下列各电流量值必须加以区别:

$I_{\text{DC}}$  是矩形脉冲电流的量值。

$I_{\text{ACrms}}$  是正弦形脉冲电流的方均根值。

$I_{\text{AC(p)}}$  是正弦形脉冲电流的峰值。

$I_{\text{Crms}}$  是持续时间为  $3T$  的电容器放电电流的方均根值。

$I_{\text{C(p)}}$  是电容器放电的峰值。设  $U_c$  为电容器开始通过人体放电时的电压,  $R_i$  为初始人体电阻,则  $I_{\text{C(p)}}$  由下式确定

$$I_{\text{C(p)}} = U_c / R_i$$

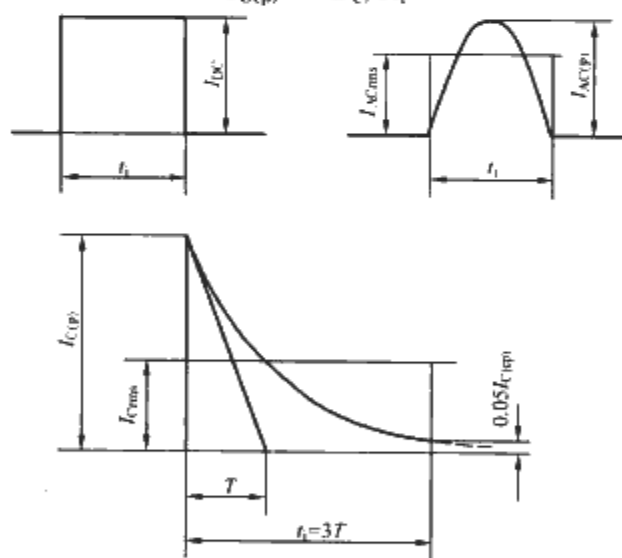


图 3.2-16 矩形脉冲、正弦形脉冲和电容器放电的电流波形

### (2) 比致颤能量 $F_e$ 的确定

本节论及的不同波形脉冲的比致颤能量  $F_e$  由下列公式确定:

1) 对于矩形脉冲,  $F_e = I_{\text{DC}}^2 t_i$

2) 对于正弦形脉冲,  $F_e = [I_{\text{AC(p)}}^2 / 2] t_i = I_{\text{ACrms}}^2 t_i$

3) 对于时间常数为  $T$  的电容器放电,  $F_e = I_{\text{C(p)}}^2 (T/2) = I_{\text{ACrms}}^2 t_i$

图 3.2-17 对具有相同比致颤能量  $F_e$  和相同电击持续时间  $t_i$  的矩形脉冲、正弦形脉冲以及时间常数为  $T$  的电容器放

电的电流量值进行比较。在这种情况下,有下列关系式

$$I_{\text{DC}} = I_{\text{AC(p)}} / \sqrt{2} = I_{\text{C(p)}} / \sqrt{6}$$

关系式  $I_{\text{DC}} = I_{\text{C(p)}} / \sqrt{6}$  的推导如下

$$F_e = I_{\text{C(p)}}^2 \int_0^\infty e^{-2t/T} dt = I_{\text{C(p)}}^2 \frac{T}{2}$$

$$I_{\text{Crms}}^2 \times 3T = I_{\text{DC}}^2 \times 3T = I_{\text{C(p)}}^2 T/2$$

$$I_{\text{Crms}} = I_{\text{DC}} = I_{\text{C(p)}} / \sqrt{6}$$

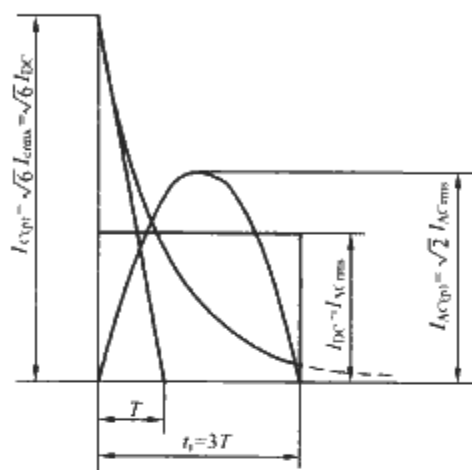


图 3.2-17 具有相同比致颤能量和相同电击持续时间的矩形脉冲、正弦形脉冲和电容器放电

### (3) 电容器放电的感知阈和痛觉阈

这些阈值取决于电极的形状,脉冲的电荷量及其电流峰值。如图 3.2-18 所示,以人用干燥的手握大电极时,随电容器电荷量和充电电压而变的感知阈和痛觉阈。

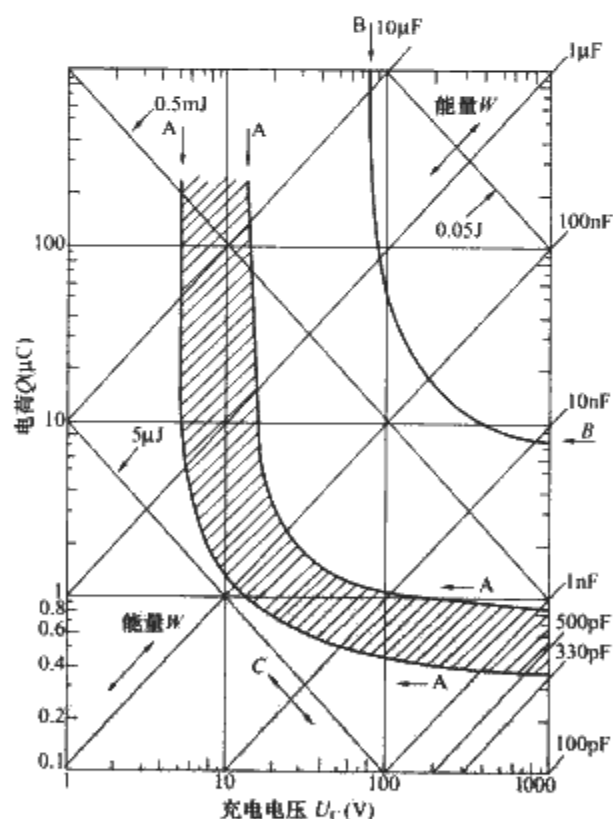


图 3.2-18 电容器放电的感知阈和痛觉阈 (双手干燥, 大接触面积)

A 区—感知阈; B 曲线—典型的痛觉阈

注: 对角轴线为电容量 ( $C$ ) 和能量 ( $W$ ) 的刻度, 可从充电电压坐标与电容量坐标的交点, 在相应轴线上读出脉冲的电荷量和能量。

电流通路通过手脚和大面积接触时, 以比能量表示的痛觉阈约为  $(50 \sim 100) \times 10^{-6} \text{ A}^2 \cdot \text{s}$ 。

### (4) 心室纤维性颤动阈

心室纤维性颤动阈取决于脉冲电流的波形、持续时间和

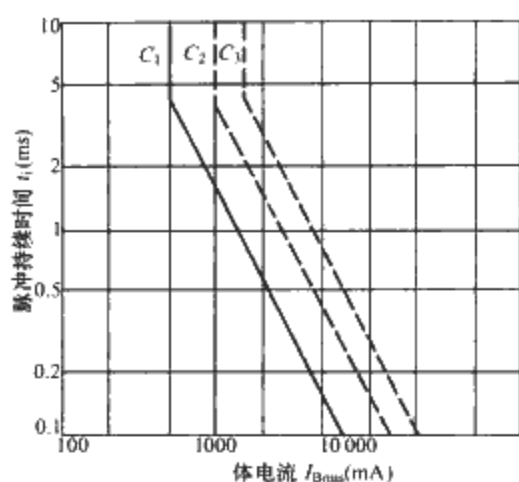


图 3.2-19 心室纤维性颤动阈

注：图 3.2-19 中的曲线给出电流通路为左手到双脚的电流的心室纤维性颤动危险概率。 $C_1$  以下：无心室纤维性颤动。 $C_1$  以上到  $C_2$ ：心室纤维性颤动危险小（概率达到 5%）。 $C_2$  以上到  $C_3$ ：心室纤维性颤动危险中等（概率达到 50%）。 $C_3$  以上：心室纤维性颤动危险大（概率大于 50%）。

大小，脉冲开始时的心脏时相，电流在人体内的通路和个人的生理特点，动物实验表明：

1) 就短时间的脉冲而言，一般只有当脉冲落在心搏周期的脆弱期时才会引起心室纤维性颤动。

2) 就电击持续时间小于 10ms 的单向脉冲而言，引发心室纤维性颤动取决于比致颤电荷量  $F_q$  或比致颤能量  $F_e$ 。

各心室纤维性颤动阈如图 3.2-19 所示。对于 50% 概率的心室纤维性颤动来说， $F_q$  约为  $0.005A \cdot s$ ，而  $F_e$  则从脉冲持续时间  $t_i = 4ms$  时的约  $0.01A^2 \cdot s$  上升到  $t_i = 1ms$  时的  $0.02A^2 \cdot s$ 。

(刘屏周)

## 7 特低电压 (ELV) 限值

在电击防护措施中，将流过人体的电流限制在无危险的范围内，即在形式上将同时可触及的两个可导电部分之间的电压限制在安全的范围内，是其中主要的措施和原则之一。

规定特低电压的各种限值，目的是指导如何为电气设备、电气装置或装置的一部分去正确选择两个可同时触及的可导电部分之间的最高电压。

### 7.1 概述

标准所规定的电压限值是指在最不利的情况下（预计到所有应考虑的外部因素，如电网电压的容差等）允许存在于两个可同时触及的可导电部分间的最高电压。可以认为在规定的限值范围内的电压，在相应条件下对人是不会有危险的。

标准所给出的正常（无故障）和故障两种状态下的电压限值并不区分电路接地与不接地。

标准所限定的电压是指由一个其内阻抗比人体阻抗低得多的电源提供的电压。

在选用电气装置或电气设备的涉及特低电压的标称值或额定值时，其值应小于所规定的相应的限值，并需留有余量。此余量应足以保证在各种状态和各种外界因素的影响下，在电气设施或电气设备中的任何两个可被人体同时触及的可导电部分之间可能存在的电压，不会超过相应的限值。

### 7.2 影响电压限值的因素

确定电压限值要考虑的因素相当多，主要是以下因素：

1) 人体阻抗因素：接触电压；皮肤潮湿程度；接触面积；流过人体的电流波形和频率。

2) 可触及部分因素：接触面积（指尖、手指、手）；被握紧的可能性。

3) 电气系统因素：交流/直流；波形、频率、单脉冲；接地状况；标称值/最大值、容差。

4) 生理效应界限：感知；反应；疼痛；灼伤；摆脱；麻痹；心脏纤维性颤动。

5) 电气参数界限：电压（交流/直流、方均根值、峰值、波形）；电流（交流/直流、方均根值）；电能；电荷；频率。

### 7.3 环境状况

电压限值的确定与环境状况关系极大，规定的电压限值考虑了以下四种环境状况：

1) 皮肤阻抗和对地电阻均可忽略不计，人体浸没于水中属于此种环境状况。

2) 皮肤阻抗和对地电阻有所降低，潮湿的环境属于此种状况。

3) 皮肤阻抗和对地电阻均不降低，干燥的环境属于此种状况。

4) 这是一种由各有关专业标准化技术委员会负责定义的特殊状况，例如电焊、电镀等专业。

### 7.4 电压限值

标准所规定的电压限值对不大于  $80cm^2$  的接触面积来说是留有余量的。对于小接触面积，这里给出了 15~100Hz 交流电的较高的值，但对于大于 100Hz 的交流电和直流电，尚无可用的数据。

交流的电压限值均为方均根值 (r. m. s.)，同时是对正弦波而言的，其他波形的尚待研究。

直流的电压限值是对无纹波直流电而言。通常把正弦纹波含量的方均根值不大于 10% 的直流电称为“无纹波直流”。例如：对于一个 120V 的无纹波直流系统，其峰值不超过 137V。

#### (1) 稳态限值

在正常（无故障）状态和故障状态下，环境状况为 1~3 时的稳态直流电压和频率范围为 15~100Hz 的稳态交流电压的限值列于表 3.2-5。对于接触面积小于  $1cm^2$  的非可握紧部分，在环境状况为 3 时，给出了交流的较高的电压限值。

表 3.2-5 15~100Hz 交流和直流（无纹波）的稳态电压限值

环境状况	电压限值 (V)					
	正常状态下 (无故障)		故障状态下			
			单故障①		两个故障②	
	交流	直流	交流	直流	交流	直流
1	0	0	0	0	16	35
2	16	35	33	70⑤	(不用)	
3	33③	70⑤	55④	140⑥	(不用)	
4	特殊应用⑦					

①“单故障”：能影响两个可同时触及的可导电部分间电压的单一故障。

②“两个故障”：能影响两个可同时触及的可导电部分间电压的同时存在的两个故障。若其中任何一个故障单独出现时，即已影响到可同时触及的可导电部分间的电压时，则应先按“单故障”评价。

③对于接触面积小于  $1cm^2$  的非可握紧部件，限值允许增大至 66V。

④对于接触面积小于  $1cm^2$  的非可握紧部件，限值允许增大至 80V。

⑤在电池充电时，限值允许增大到 75V。

⑥在电池充电时，限值允许增大到 150V。

⑦限值由有关的专业标准化技术委员会规定。

(2) 单故障发生后的电压限值 (15~100Hz 交流和无纹波直流)

单故障发生后的电压限值与故障的持续时间有关。持续时间在 10s 及以上的适用表 3.2-5 的规定值; 持续时间在 10ms 以下的数据尚待研究; 持续时间在 10ms~10s 之间的电压限值如图 3.2-20 所示曲线中给出 (环境状况为 2 时的直流电压限值尚待研究)。对于在正常操作中易被人体触及的可导电部分, 各专业标准化技术委员会应考虑规定更低的值。

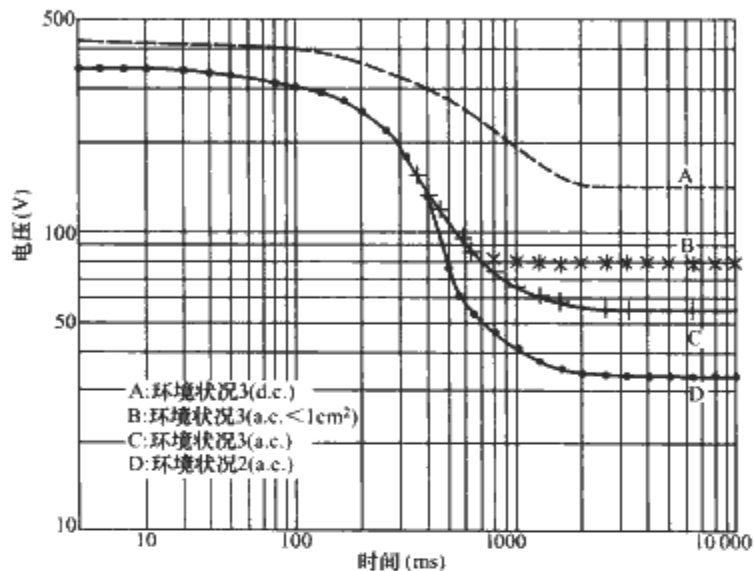


图 3.2-20 单故障发生后交流 (15~100Hz) 和直流的电压限值

#### (3) 单脉冲的限值

在单故障发生后持续时间不短于 10ms 的情况下, 单向单脉冲的限值可以应用图 3.2-22 中的直流电的曲线。持续时间短于 10ms 的限值尚待研究。

#### (4) 频率在 100Hz 以上的限值

频率高于 100Hz 的交流电, 其正常状态下的环境状况为 2 和 3 时的限值如图 3.2-21 的曲线所示。频率在 1kHz 以上时, 环境状况 2 和 3 的限值相同。频率在 1~5kHz 范围内的最高电压均为 10V。

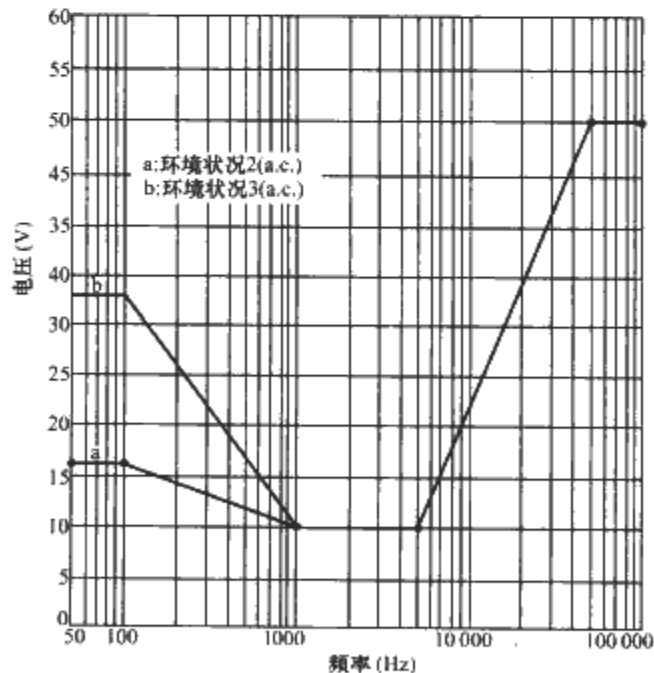


图 3.2-21 正常 (无故障) 状态下频率作用的电压限值

频率高于 100Hz 的交流电, 其单故障状态下的环境状况为 2 和 3 时的限值如图 3.2-22 的曲线所示。频率在 50kHz 以上时, 环境状况 2 和 3 的限值相同。

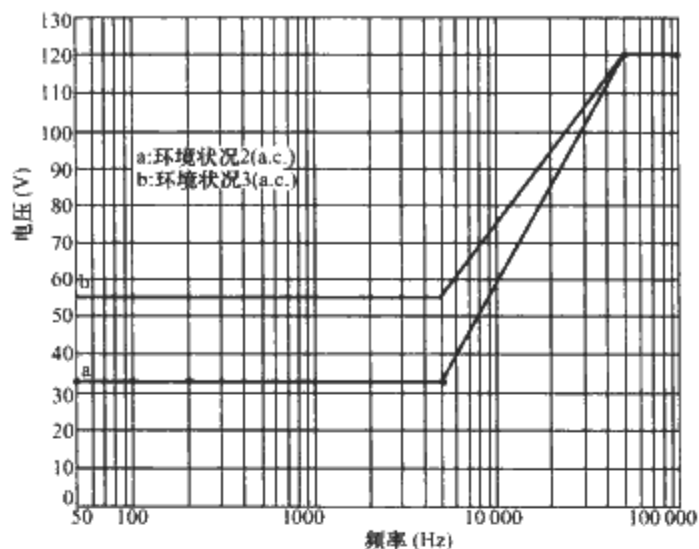


图 3.2-22 单故障状态下考虑频率作用的电压限值

对于频率在 50kHz 以上的交流电, 考虑到灼伤效应的最高电压, 在正常状态和单故障状态下的最高电压均为 50V。

#### (5) 带电电容器的限值

如图 3.2-23 所示的曲线给出了可能向人体放电的各种电容量的带电电容器上的电压限值, 图 3.2-23 右侧以 A、B、C 和 D 标志的各截止线的电压值分别对应于表 3.2-5 中相应条件下的直流稳态电压限值。

表 3.2-6 表达的是疼痛阈曲线 (见图 3.2-23 中的曲线 a)。各专业标准化技术委员会可根据放电方式、接触的可能性和其他具体条件, 在保障人身安全的前提下, 规定适合本专业需要的限值。

对 70V 以下的电压在环境状况为 3 的无故障状态下应用时, 电容器的以疼痛阈为界限的电容量限值可不受限制 (见图 3.2-23 中的截止线 C), 但在环境状况为 2 的无故障状态下应用时, 尚需考虑无心脏纤维性颤动为界限的限值。对 35V 以下的电压, 在环境状况为 2 的无故障状态下应用时, 其电容量可不受限制 (见图 3.2-23 中的截止线 D)。

图 3.2-23 中的曲线 b 表达的是以不发生心脏纤维性颤动为界限的限值, 它一般在单故障状态下应用 (在无故障状态下, 环境状况为 2 时, 电压 35~70V 这一区段, 尚需应用此曲线)。

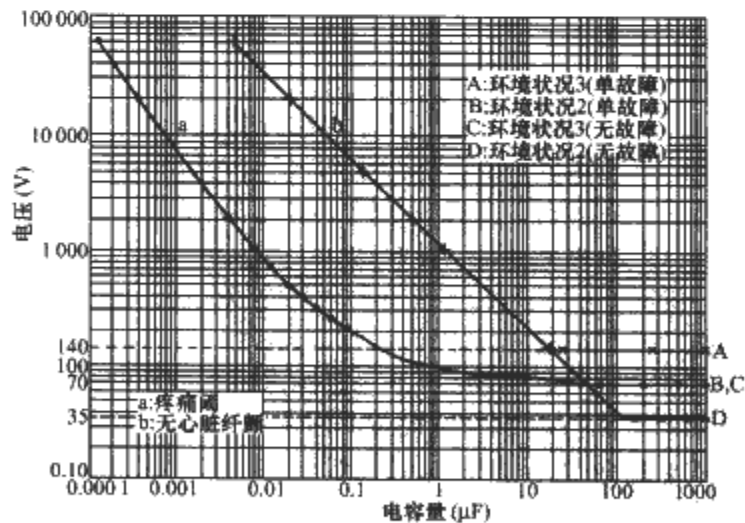


图 3.2-23 可能向人体放电的电容器的电压和电容量限值

当电容器的电容量已确定, 需计算其电压限值时, 可采用下述公式

$$U = (13.38 \times 10^3 / C)^{(1/1.354)} \quad (3.2-1)$$

式中， $U$  为电压，V； $C$  为电容量， $\mu\text{F}$ 。

表 3.2-6 以疼痛阈为界限的电容量限值

电 压 (V)	电 容 量 ( $\mu\text{F}$ )	电 压 (V)	电 容 量 ( $\mu\text{F}$ )
70	42.4	500	0.018
78	10.0	700	0.012
80	3.8	1000	0.008
90	1.2	2000	0.004
100	0.58	5000	0.001 6
150	0.17	10 000	0.000 8
200	0.091	20 000	0.000 4
250	0.061	40 000	0.000 2
300	0.041	60 000	0.000 133
400	0.028		

当计算所得的电压限值已低于表 3.2-5 中相应条件下的直流电压限值时，该电容量的电压限值可按表 3.2-6 的限值来要求。

当电容器两端的电压限值已被确定，需计算其电容量的限值时，可采用下述公式

$$C = 13.38 \times 10^3 \times U^{-1.354} \tag{3.2-2}$$

式中， $C$  为电容量， $\mu\text{F}$ ； $U$  为电压，V。

表 3.2-7 列出了按式 (3.2-2) 计算的部分数据。

表 3.2-7 以不发生心脏纤维性颤动为界限的电容量限值

电 压 (V)	电 容 量 ( $\mu\text{F}$ )	电 压 (V)	电 容 量 ( $\mu\text{F}$ )
35	108.5	700	1.8
70	42.4	1000	1.1
140	16.6	2000	0.45
200	10.2	5000	0.13
250	7.5	10 000	0.05
300	5.9	20 000	0.02
400	4.0	40 000	0.007 9
500	2.9	60 000	0.004 5

当电容器两端的电压已被限定低于表 3.2-5 中相应条件下的直流电压限值时，其电容量限值可不受式 (3.2-2) 和表 3.2-7 的限制（见图 3.2-23 所示的截止线 A、B 和 D）。

（贺湘琨）



## 第3章 低压电气装置基本原则

本章提出低压电气装置的设计、选择和校验的规则，规则涉及应采取低压电气装置合理使用中出现的对人、家畜的伤害和财产的损失的措施，并保证低压电气装置的适当功能。

### 1 范围

#### 1.1 适用低压电气装置的建筑物和类似设施范围

居住用房屋。  
商业用房屋。  
公共用房屋。  
工业用房屋。  
农业及园艺用房屋。  
预制建筑物。  
野营车、野营车营地及类似场所。  
建筑工地、展览会、集市及其他临时性设施。  
游艇和停泊地。  
室外照明及类似装置。  
医疗场所。  
车载的或可运输的装置。  
光伏电源系统。  
低压发电机组。

#### 1.2 适用的低压电气装置类型

标称电压为交流 1000V 及其以下或直流 1500V 及其以下的供电回路。

低压电气装置的交流电的优选频率为 50Hz、60Hz 和 400Hz，但不排除因特殊用途而使用的其他频率。

电器的电源取自电压不超过交流 1000V 的装置而电器的工作电压超过 1000V 的回路，例如给气体放电灯、静电除尘器供电的回路，但电器的内部布线除外。

未被器具标准明确地包括在内的任何布线系统和电缆。

建筑物外的所有用户装置。

通信、信号、控制和类似用途的固定布线（不包括电器的内部布线）。

低压电气装置改建或扩建的部分和现有低压电气装置中受到改建和扩建影响的部分。

#### 1.3 低压电气装置不适用的范围

低压电气装置不适用的范围为：

电力牵引设备，包括车辆和信号设备。

机动车的电气设备，但 GB 16895 中的第 7 部分《特殊装置或场所的要求》除外。

船用电气装置，移动或固定码头。

飞机用电气装置。

由公共电网供电的公共道路照明装置。

矿井或采石场用电气装置。

抑制无线电干扰的设备（影响装置安全的设备除外）。

电围栏。

建筑物的防雷保护系统（LPS）。但是，大气现象对电气装置的影响仍属应考虑的内容（如关于电涌保护器的选择）。

起重装置。

机床电气设备。

#### 1.4 低压电气装置未考虑用于的领域

公用配电系统。

公用配电系统的发电和输电。

#### 1.5 电气设备的适用范围

对于电气设备，本部分只涉及它们的选择和在低压电气装置中的应用，不涉及低压电气装置中的电气设备的制造。这一点也适用于符合有关标准的成套电气设备的组件。

### 2 低压电气装置的基本原则

低压电气装置中存在的主要危险：

- 1) 电击电流。
- 2) 因温度过高而可能引起的灼伤、着火和其他有害的效应。
- 3) 引燃爆炸性气体。
- 4) 欠电压、过电压和电磁干扰，引起或导致伤害和损失。
- 5) 电源或应急电源中断。
- 6) 电弧引起的对眼睛的伤害、超压或有毒气体泄漏。
- 7) 电驱动设备的移动。

下面所列的内容是针对电气装置在合理使用中可能发生的危险和损害而提出的要求（其目的是保障人、家畜和财产的安全），以及保障人、家畜和财产的安全的设备适合所安装的场所。

#### 2.1 电击防护

1) 基本防护（直接接触防护）对于人和家畜在接触电气装置的带电部分时所可能发生的危险应有防护。这种防护可用下述方法之一获得：

①防止电流从任何人或家畜的身体通过。

②限制能够通过身体的电流，使其值低于电击电流。

2) 故障防护（间接接触防护）对于人和家畜在故障情况下接触外露可导电部分时所可能发生的危险应有防护。这种防护可用下述方法之一获得：

①防止故障电流从人或家畜的身体通过。

②限制能够通过身体的故障电流，使其值低于电击电流。

③在故障情况下，当人或家畜因触及外露可导电部分而可能导致一个等于或大于电击电流的电流通过身体时，在规定的时间内自动切断供电。

#### 2.2 热效应保护

电气装置的布置应做到其所在处不会发生由于高温或电

弧而引燃易燃物的危险。另外，在电气设备正常运行期间，对人或家畜不应有灼伤的危险。

### 2.3 过电流保护

在带电体中一旦出现由任何过电流引起的高温或机电应力时，应保护人或家畜不受伤害及财产不受损失。

这种防护可用将过电流限制在安全数值内或安全的持续时间内来实现。

### 2.4 故障电流保护

预计会承载故障电流的导体（带电导体除外）和任何其他物件，应能承载故障电流而不致达到过高温度。电气设备包括导体应提供机械保护，以防止由故障电流引起的机电应力。

对于带电导体，满足本节2.3节的要求即可保证它们对由故障引起的过电流的防护，同时要特别注意PE导体和接地导体的电流。

### 2.5 防电压骚扰和防电磁干扰措施

1) 在供电电压不同的回路的带电部分之间发生故障时，应保护人和家畜不因此而受伤害，及财产不因此而受任何有害的影响。

2) 由于其他原因（例如大气现象或操作开关等）一旦出现过高的电压时，应保护人和家畜不因此而受伤害及财产不因此而受损失。

3) 欠电压和电压恢复，应保护人、家畜不因此受到伤害及财产受到损失。

4) 低压电气装置应有足够抗电磁骚扰能力，在规定的环境中所具有的功能。低压电气装置设计应注意低压电气装置或设备的电磁辐射，并适用于与低压电气装置同时使用或与之相连接的用电设备。

### 2.6 防电源中断

为避免电源中断而出现伤害和损失，低压电气装置或设备应采取适当的措施。

## 3 设计

### 3.1 概述

低压电气装置的设计应考虑到本节所述的诸因素，以提供：

符合本篇中第3章第2节基本原则要求的对人、家畜和财产的保护。

低压电气装置按设计使用时应有的功能。

本节3.2~3.5条所列的是作为设计基础的应具备的资料。设计应满足的要求列于本节3.6~3.12条中。

### 3.2 电源特性

低压电气装置设计时应知电源的特性，从供电部门获得相关信息是必要的。电源特性将包括符合低压电气装置系列标准文件。若供电部门改变电源特性，将影响低压电气装置的安全。

1) 电流的种类：交流和（或）直流。

2) 导体的功能：①交流：相导体；中性导体；保护导体。②直流：相导体；中间导体；保护导体一些导体的功能可组合在一根导体内。

3) 数值和偏差：①电压和电压偏差；②电压中断、电压偏差和电压降；③频率和频率偏差；④允许的最大电流；⑤电气装置进线前的接地故障环路阻抗；⑥预期短路电流。

4) 电源内在的保护措施。例如系统或中线点接地。

5) 供电部门的特别要求。

### 3.3 用电负荷的性质

照明、供热、动力、控制、信号、通信等所需要的回路的类型和数量取决于：

1) 动力负荷点的位置。

2) 各回路上的计算负荷。

3) 负荷的日变化、年变化。

4) 任何特殊条件，诸如谐波。

5) 控制、信号、通信等的要求。

6) 对未来用电负荷估计。

### 3.4 应急电源和备用电源

1) 供电的电源（性质、特性）。

2) 由应急电源和备用电源供电的回路。

### 3.5 环境条件

低压电气装置的设计应考虑低压电气装置所遇到环境条件。

### 3.6 导体的截面

导体的截面应按以下各项正常运行和故障情况来确定：

1) 导体允许的最高温度。

2) 允许的电压降。

3) 因接地故障和短路而可能出现的机电应力。

4) 导体可能遭受的其他机械应力。

5) 与故障电流保护功能有关的最大阻抗。

6) 安装方法。

上述各项主要考虑电气装置的安全，为了经济运行，可采用大于按这些安全要求确定的截面积。

### 3.7 布线方式和安装方法

布线方式和安装方法的选择取决于：

1) 场所的性质。

2) 支承布线用的建筑物的墙或其他物件的性质。

3) 布线对人和家畜的易接近程度。

4) 线路电压。

5) 因接地故障和短路时可能出现的机电应力。

6) 电磁干扰。

7) 低压电气装置安装或运行时，布线可能遭受的其他应力。

### 3.8 防护用设备

防护用设备的特性应由它们的功能来确定，这些功能例如对下述情况所引起的效应的防护：过电流（过负荷、短路）；接地故障电流；过电压；欠电压和失电压。

防护用器件应在与回路的特性和发生危险的可能性有适当关系的电流值、电压值和时间值动作。

### 3.9 应急控制

在发生危险时需立即切断供电的地方，应装设断电用器件，这种器件应易于识别，并能有效快速地动作。

### 3.10 隔离器件

为了维护、测试、检查故障或修理的需要，应设置隔离器件，以便对电气装置、回路或电器的个别项目实施隔离。

### 3.11 相互影响的防止

低压电气装置的布置应使低压电气装置与非低压电气装置之间不会有相互不利的影响。

### 3.12 电气设备的易接近性

电气设备的布置应根据需要做到：

留有足够的空间，以便电气设备的初装和以后更换个别项目；操作、测试、检查、维护和修理时易于接近。

### 3.13 低压电气装置的文件

每个低压电气装置应提供恰当的文件。

## 4 电气设备的选择

### 4.1 概述

低压电气装置中所使用的每项电气设备均应符合相应的中国标准。

### 4.2 特性

所选择的每项电气设备均应有与低压电气装置设计（见本章第3节）所依据的数值和条件相适应的适当特性，尤其应满足以下各项的要求。

#### （1）电压

电气设备应适应可能施加的最高稳定电压（交流电按方均根值计）以及可能出现的过电压。对某些设备还需要考虑可能出现的最低电压。

#### （2）电流

电气设备应按正常运行时承载的最大稳定电流（交流电按方均根值计）来选择；还应按异常情况下可能承载的电流和该电流通过的时间（如果装有防护用器件即为该器件的动作时间）来选择。

#### （3）频率

如果频率对电气设备的特性有影响，则设备的额定频率应与回路中可能出现的频率相适应。

#### （4）负荷系数

所有按照功率特性选择的电气设备，都应适应设备工作方式的需要（计及工作条件）。

### 4.3 安装条件

所选择的电气设备应能安全地经受住各种外力及它所可能遇到的所在场所特有的环境条件（见本文3.5条）。如果某项电气设备的设计性能未能与其所在场所相适应，则在配置了合适的补充保护（应成为电气装置整体的一部分）后方可使用。

### 4.4 防止有害影响

所选择的电气设备不应对其他设备产生有害的影响，也不应在正常运行期间（包括开关操作）对电源有所损害。在这方面能产生影响的因素有：功率因数；涌流；不平衡负荷；谐波；低压电气装置中的设备产生的瞬态过电压等。

## 5 低压电气装置的安装和校验

### 5.1 安装

1) 应为低压电气装置的安装提供合格人员的熟练技能和适用的材料。电气设备应按设备制造商提供的安装说明书进行安装。

2) 电气设备的特性（按照本章第4节所规定的）在安装过程中不应受到损害。

3) 导体应能按照规定予以识别。

4) 导体之间及导体与其他电气设备之间的连接应保证做到安全和接触可靠。

5) 电气设备的安装应使设计所要求的冷却条件不受损害。

6) 所有可能产生高温或电弧的电气设备，应妥善安置或加以遮护，以消除引燃易燃材料的危险。若电气设备的裸露部分的温度可能伤害人体时，则这些部分应妥善布置或加以遮护，以防人员意外触及。

7) 为了安全目的，应提供适当的警示符号或通告板。

8) 选择某一低压电气装置，由于使用新材料、新发明或导致偏离低压电气装置标准系列安装方式，低压电气装置最终的安全程度应不低于低压电气装置标准系列规定。

9) 低压电气装置改建或扩建，已有的设备满足增加负荷的要求。接地或等电位联结的配置应满足改建或扩建部分安全防护的要求。

### 5.2 初验

低压电气装置在投入运行前和进行任何重要改装之后均应进行检查和测试，以验证所完成的工程是符合标准的。

### 5.3 定期校验

每个低压电气装置都应进行定期校验。

## 6 建筑物电气装置的一般特性评估

在选择安全防护方式和设备的选择与安装方法时，应对装置的下列特性作出评估：装置的预期使用的目的、一般结构以及其供电；装置所容易遭受的外界影响；装置的设备兼容性；装置的可维护性。

### 6.1 目的、电源和结构

#### （1）最大需求和多样性

在发热和电压降允许的范围内，作为经济和可靠的装置设计，实质上是确定最大的需求。在确定装置或其一部分的最大需求方面，是可以考虑其多样性的。

#### （2）导体的配置和系统接地

应评估下列特性：在正常运行下载流导体的配置；系统接地的形式。

1) 取决于电流种类的载流导体。这里所说的导体配置，并非是全面的，它们所包括的是作为典型配置的例子。

在正常运行条件下，载流导体的配置如图3.3-1～图3.3-7所示。交流回路中的载流导体如图3.3-1～图3.3-5所示。

三相四线制具有中性导体或PEN导体。根据定义，PEN导体并不是带电导体，但是传输工作电流。

单相二线制的配置情况是从三相四线制的配置衍生的。其两根导体，既可以是两根相导体，也可以是一根相导体和一根中性导体，或者是一根相导体和一根PEN导体。在采

用相与相之间连接所有负荷的装置中，则中性导体可能并不是必需设置的。



图 3.3-1 单相二线制  
\* 导体的编号可另选择

图 3.3-2 单相三线制  
\* 导体的编号可另选择

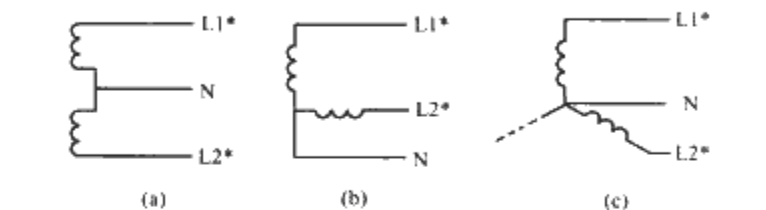


图 3.3-3 二相三线制

(a) 相角 180°；(b) 相角 90°；(c) 相角 120°

\* 导体的编号可另选择



图 3.3-4 三相三线制

(a) Y 联结；(b) Δ 联结

直流回路中的载流导体如图 3.3-6、图 3.3-7 所示。

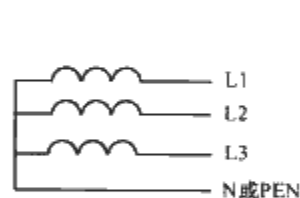


图 3.3-5 三相四线制

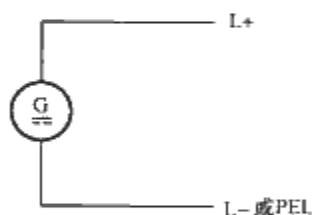


图 3.3-6 二线制

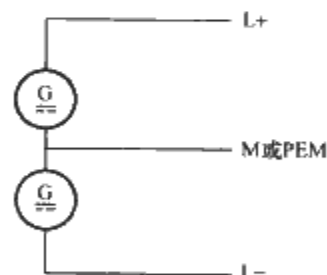


图 3.3-7 三线制

虽然 PEL 和 PEM 导体传输工作电流，但它们并不是带电导体。因此，适合于设计成二线制配置或三线制配置。

2) 系统接地的型式。系统接地的型式如下：

① 图 3.3-8~图 3.3-20 所示的是通常采用的三相系统的例子。

图 3.3-21~图 3.3-25 所示的是通常采用的直流系统的例子（表 3.3.1 为对图 3.3-8~图 3.3-25 的符号说明）。

② 点划线所表示系统的部分，是不包括在范围之内的；实线所表示的部分，是装置所包括的范围。

③ 对于专用系统，则电源和/或配电系统，可以被认为是装置的一部分。对于这种情况，其图 3.3-8 完全可以用实线表示。

④ 所采用的文学符号具有的含义：

第 1 个字母为电源系统的对地关系。

T 为某点对地直接连接；I 为所有的带电部分与地隔离或某点通过高阻抗接地。

第 2 个字母为装置的外露可导电部分的对地关系。T 为

外露可导电部分的直接对地电气连接；N 为外露可导电部分与电源系统的接地点的直接的电气连接（在交流系统中，电源系统的接地点通常是中性点；没有备用的中性点时则为相导体）。后续的字母（如果有）为中性导体与保护导体的配置。S 为由从中性导体或接地的线路（或在交流中被接地的相线）导体分离的导体提供的保护功能；C 为中性的和保护的功能合并在一根导体中（PEN 导体）。

表 3.3-1 对图 3.3-8~图 3.3-25 的符号说明

	中性导体 (N)；中间导体 (M)
	保护导体 (PE)
	合并的保护和中性导体 (PEN)

1) TN 系统。

① 单电源系统，TN 电源系统在电源处有一点被直接接地，而装置的外露可导电部分是利用保护导体连接到那个接地点上的。按照中性导体和保护导体的配置，所考虑的 TN 系统的三种类型如下所示：

TN-S 系统，在其中，整个系统全部采用独立的保护导体（见图 3.3-8~图 3.3-10）。

TN-C-S 系统，在其一部分系统中，中性的和保护导体功能，被合并在一根导体中（见图 3.3-11~图 3.3-13）。在系统的一部分中，中性导体和保护导体的功能合并在一根导体中。

TN-C 系统，在其全系统中，中性导体和保护导体的功能，被合并在一根导体中（见图 3.3-14）。在系统的一部分中，中性导体和保护导体的功能被合并在一根导体中。

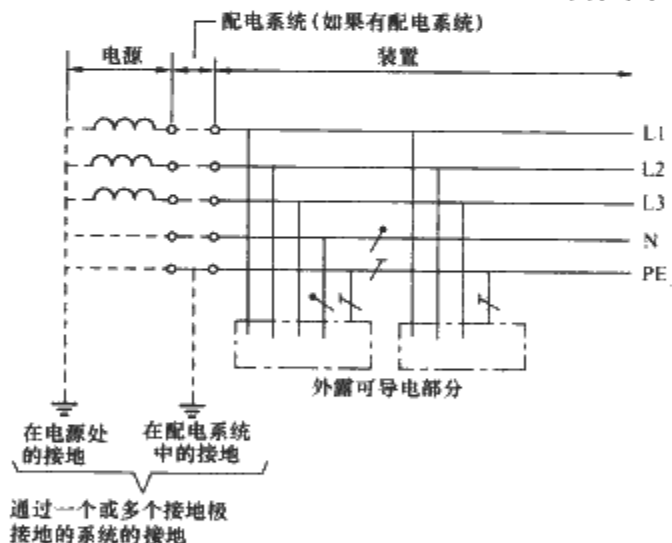


图 3.3-8 全系统都采用独立的中性导体和保护导体的 TN-S 系统

注：对装置的 PE 可以提供附加的接地。

② 多电源系统，对于一个具有多电源的 TN 系统，在设计不适当的情况下，一些工作电流就可能通过未预期的路径流通。这些电流可能引起火灾、腐蚀、电磁干扰。

a. 不应在变压器的中性点或发电机的星形点直接对地连接。

b. 变压器的中性点或发电机的星形点之间相互连接的导体应被绝缘，这种导体的功能类似于 PEN，然而，不得将其与用电设备连接。

c. 在电源的相互连接的中性点与 PE 导体之间，应具有唯一的连接。这种连接应设置在总、配电屏内。

d. 对装置的 PE 导体可提供附加的接地。

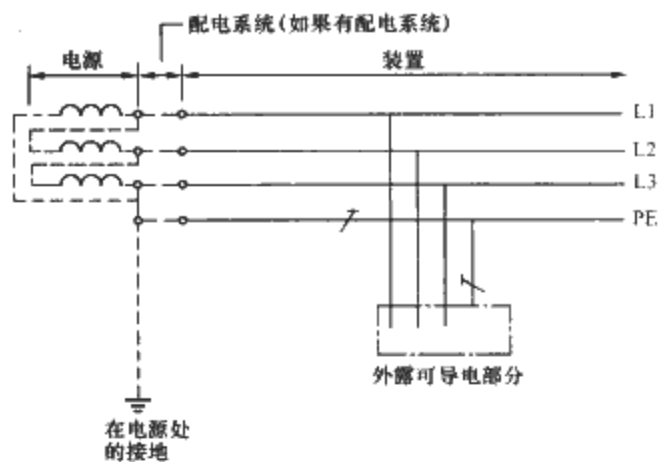


图 3.3-9 全系统都采用单独接地的相导体和保护导体的 TN-S 系统  
注：对配电系统和装置的 PE 可另外增设接地。

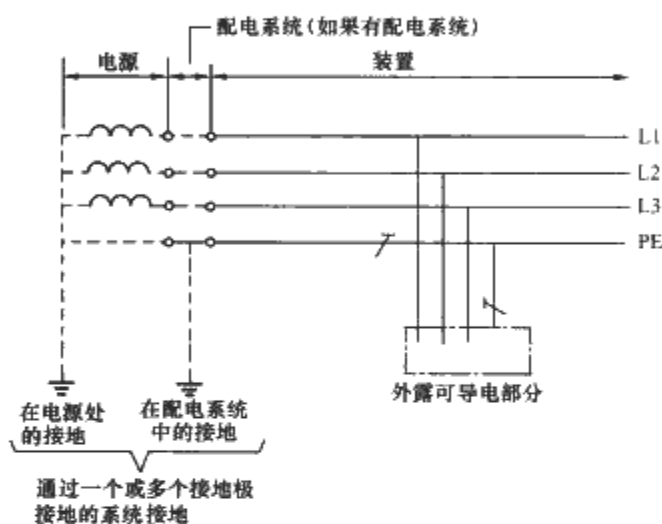


图 3.3-10 全系统都采用接地的保护导体而没有配置中性导体的 TN-S 系统  
注：对装置的 PE 可另外增设接地。

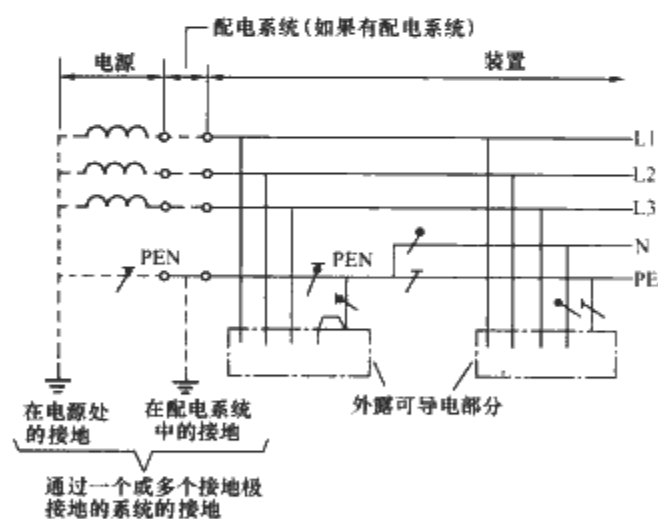


图 3.3-11 在装置的其他处将 PEN 分离成 PE 和 N 的三相四线制的 TN-C-S 系统  
注：对装置的 PEN 或 PE 可另外增设接地。

仅采用二相负荷和三相负荷的工厂中，在相导体之间，没有必要提供中性导体（见图 3.3-16）。在这种情况下，保护导体宜多处接地。以下是 a~d 表示的主要设计规则要点：

- 不应在变压器的中性点或发电机的星形点直接对地连接。
- 变压器的中性点或发电机的星形点之间相互连接的导体应被绝缘。这种导体的功能类似于 PEN，然而，不得将其与用电设备连接。
- 在电源的相互连接的中性点与 PE 导体之间，应具有唯一的连接，这种连接应设置在主开关设备的内部。

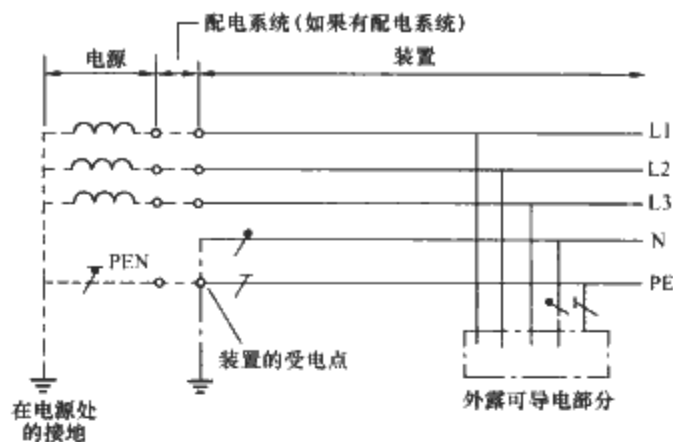


图 3.3-12 在装置的受电点将 PEN 分离成 PE 和 N 的三相四线制的 TN-C-S 系统  
注：对配电系统的 PEN 和装置的 PE 可另外增设接地。

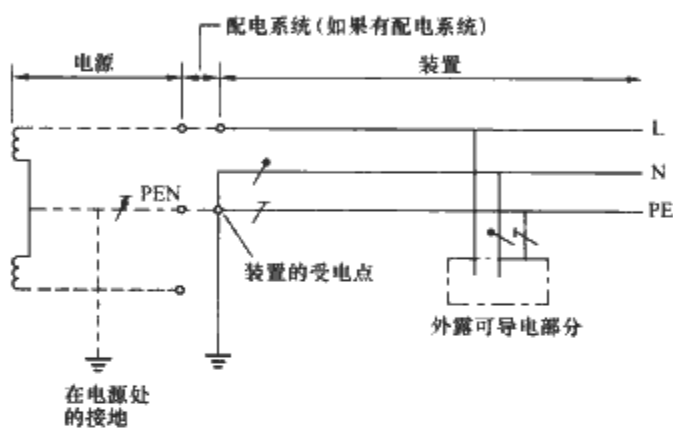


图 3.3-13 在装置的受电点将 PEN 分离成 PE 和 N 的单相二线制的 TN-C-S 系统  
注：对配电系统的 PEN 和装置的 PE 可另外增设接地。

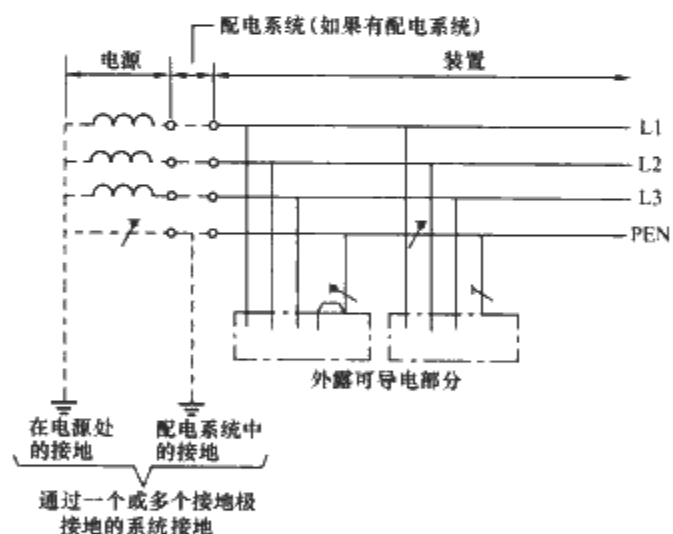


图 3.3-14 全系统采用将中性导体和保护导体的功能合并于一根导体的 TN-C 系统  
注：对装置的 PEN 可另外增设接地。

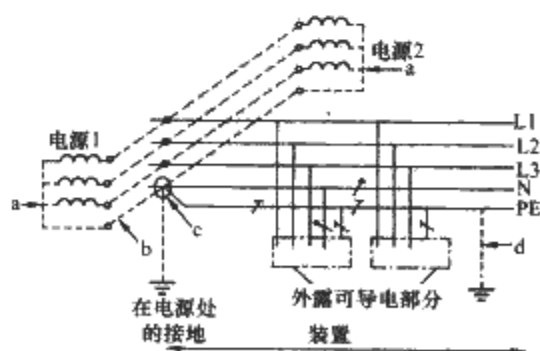


图 3.3-15 对用电设备采用独立的保护导体和中性导体的多电源 TN-C-S 系统  
d. 对装置的 PE 导体可提供附加的接地。

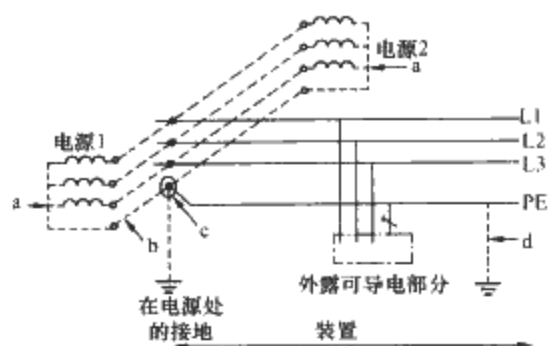


图 3.3-16 全系统对于二相或是三相负荷只采用保护导体而不用中性导体的多电源的多电源 TN 系统

2) TT 系统只有一个点直接接地，而装置的外露可导电部分则是被接到在电气上独立于电源系统接地极的接地极上（见图 3.3-17 和图 3.3-18）。

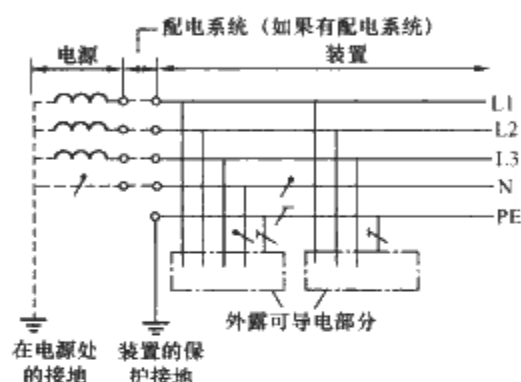


图 3.3-17 全部装置都采用独立的中性导体和保护导体的 TT 系统  
注：对装置的 PE 可另外增设接地。

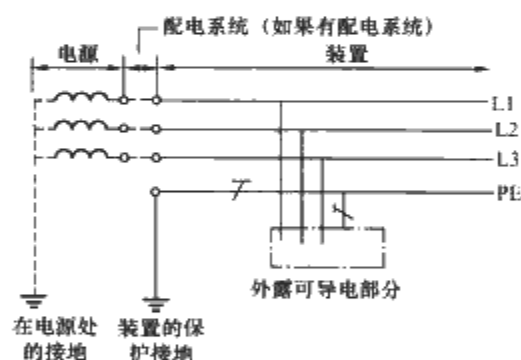


图 3.3-18 全部装置都采用接地的保护导体而没有配置的中性导体的 TT 系统  
注：对装置的 PE 可另外增设接地。

3) IT 系统的所有带电部分都与地隔离，或某一点通过阻抗接地。电气装置的外露可导电部分，被单独地或集中地接地，或按照 GB 16895.21—2004 的 413.1.5 的规定，接到系统的接地上（见图 3.3-19 和图 3.3-20）。

4) 直流系统，直流（d.c.）系统的系统接地的型式。如图 3.3-21 和图 3.3-25 所示二线制直流系统的特定的极接地，决定正极或负极接地应以工作环境或其他考虑为依据，例如，避免对极导体和接地配置的腐蚀效应。

① TN-S 系统，在型式 a 中被接地的极导体。例如 L—，在型式 b 中，被接地的中间点导体 M，都是从全部装置的保护导体中分离出来的。

② TN-C 系统，在型式 a 中，全部装置的被接地的极导体，例如：L—的功能和保护导体的功能，被合并在一根导体 PEL 中，或在型式 b 中，全部装置的被接地的中间点导体 M 的功能和保护导体的功能，被合并在一根导体 PEM 中。

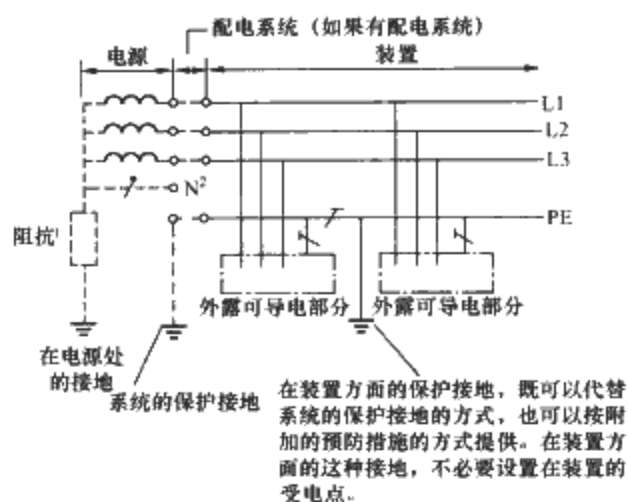


图 3.3-19 将所有的外露可导电部分都利用被集中接地的保护导体相互联结的 IT 系统  
注：装置的 PE 可另外增设接地；该系统可经足够高的阻抗接地。例如，在中性点、人工中性点或相导体上都可以进行这种连接；可以配置中性导体也可以不配置中性导体。

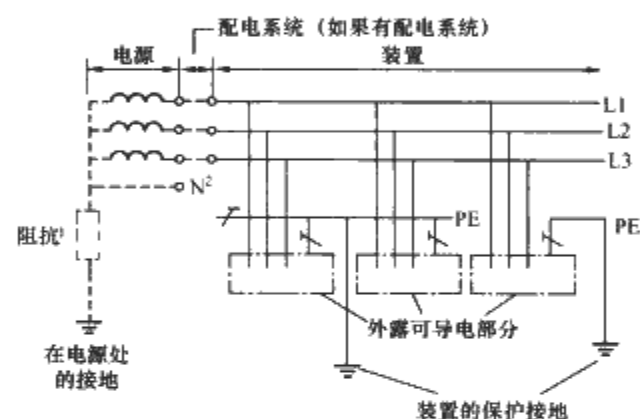


图 3.3-20 将外露可导电部分分组接地或独立接地的 IT 系统  
注：对装置的 PE 可另外增设接地，该系统可经足够高的阻抗接地，可以配置中性导体也可以不配置中性导体。

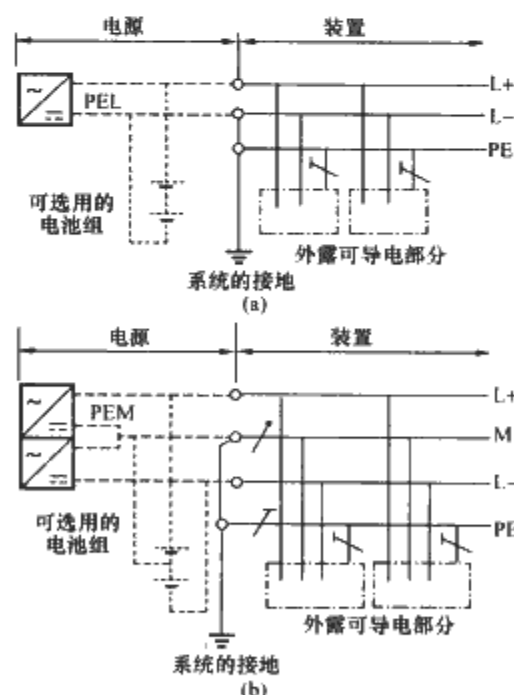


图 3.3-21 直流的 TN-S 系统  
(a) 型式 a；(b) 型式 b

注：对装置的 PE 可提供的附加的接地。

③ TN-C-S 系统在型式 a 中的一部分装置中，被接地的极导体，例如，L—的功能和保护导体的功能，被合并在一



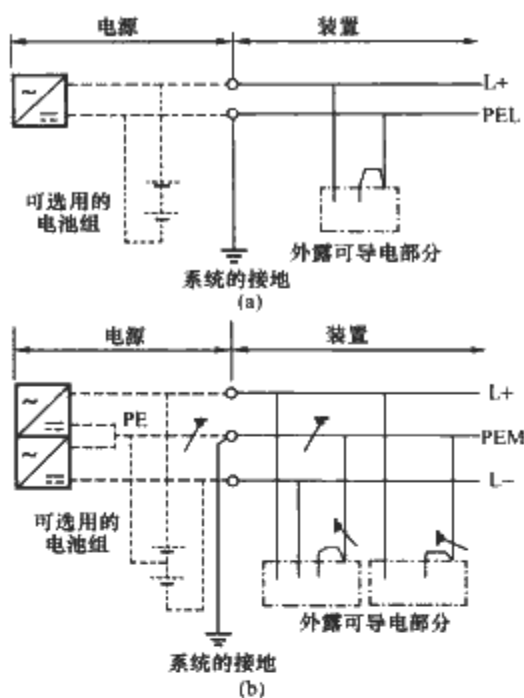


图 3.3-22 直流的 TN-C 系统

(a) 型式 a; (b) 型式 b

注：对装置的 PEL 和 PEM 可另外增设接地。

根导体 PEL 中，或在型式 b 的一部分装置中，被接地的中间点导体 M 的功能和保护导体的功能，被合并在一根导体 PEM 中。

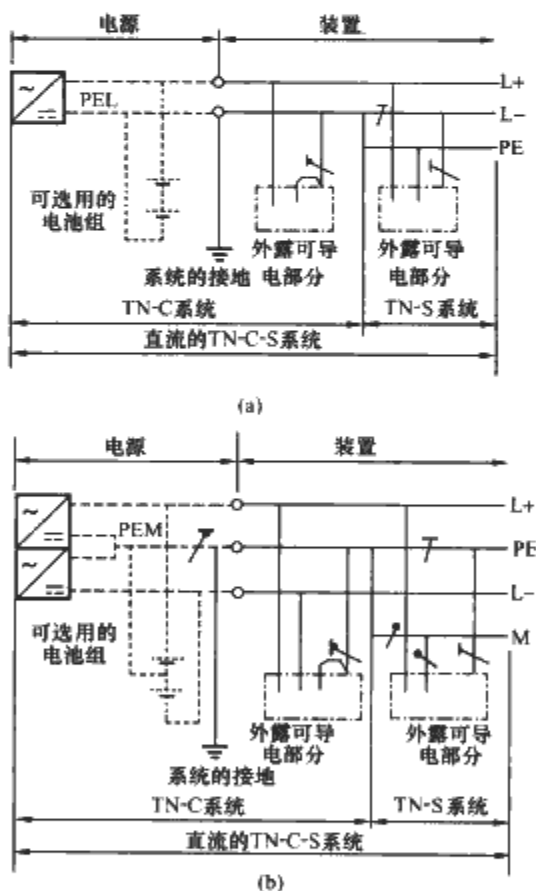


图 3.3-23 直流的 TN-C-S 系统

(a) 型式 a; (b) 型式 b

注：对装置的 PE 可另外增设接地。

④ TT 系统如图 3.3-24 所示。

⑤ IT 系统如图 3.3-25 所示。该系统可经足够高的阻抗接地。

(3) 电源

1) 概述。单电源或多电源，不管是属于什么样的电源，此电源在哪些适当方面的特性的正常范围，应根据计算、测试、研究或调查来确定，确定的内容有：标称电压；电流和

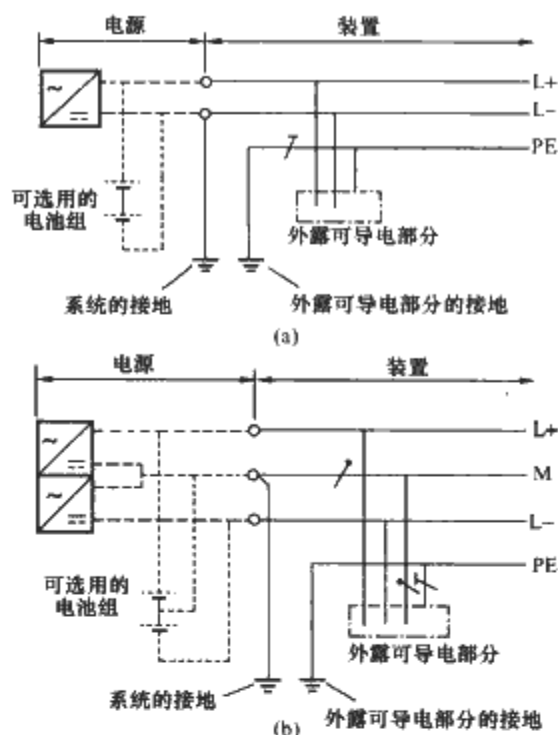


图 3.3-24 直流的 TT 系统

(a) 型式 a; (b) 型式 b

注：对装置的 PE 可另外增设接地。

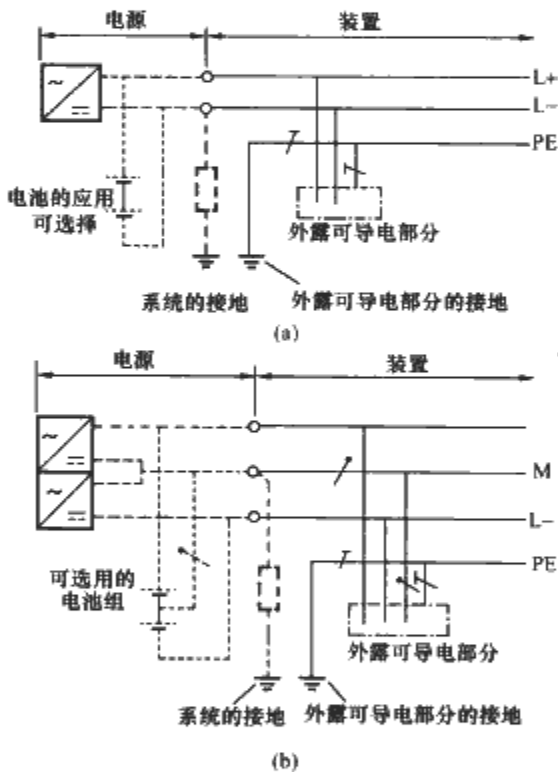


图 3.3-25 直流的 IT 系统

(a) 型式 a; (b) 型式 b

注：1. 对装置的 PE 可另外增设接地。

2. 该系统可以经足够高的阻抗接地。

频率的性质；在装置受电点的预期的短路电流；系统外部至装置那部分的对地故障回路的阻抗；包括最大需求在内，对于装置的要求的适用性；作用在装置受电点的过电流保护器件的型式和额定值。

对于外部供电应了解清楚这些特性，对于专用的电源应确定这些特性。这些要求同样适用于主电源、安全设施的电源与备用的电源。

2) 安全设施和备用系统的电源。对安全设施的要求，例如，按照涉及火灾预防和应急疏散的其他条件的管理机构所要求的，和/或由确定装置的人员的要求，对于安全设施和/或备用系统的供电电源的特性，应分别地予以评估。这

样的电源应有足够的容量、可靠性和额定值以及对于规定操作的适当的转换时间。

用于安全设施电源的进一步要求，见此后的 6.4。对于备用系统，没有特殊的要求。

#### (4) 装置的组成

1) 每个装置都应被划分为若干必要的回路，以满足下列必需的要求：在故障的情况下，避免危险并将麻烦减小至最低程度；便于安全检验、测试和维护；考虑个别的回路，比如照明回路的故障而可能发生的危险；减小在无故障情况下，由于过大的 PE 导体电流而使 RCD 意外跳闸的可能性；减轻电磁干扰（EMI）的影响；防止被隔离的回路间接带电。

2) 对于装置需要单独控制的部分，应提供单独的配电回路，采用这样的方法，这些回路就不会受到其他回路故障的影响。

### 6.2 兼容性

#### (1) 特性的兼容性

对可能对其他电气设备或其他装置具有有害的影响，或可能损坏供电（例如，对于有关部分的配合）的设备的任一特性都应作出评估。这些特性包括：瞬时过电压；欠电压；不对称负荷；快速波动的负荷；起动电流；谐波电流；直流反馈；高频振荡；对地漏泄电流；增设接地的必要性；在无故障情况下的过大的 PE 导体电流等。

#### (2) 电磁兼容性

所有的电气设备都应当适合适当的电磁兼容性（EMC），而且都应符合相关的电磁兼容性（EMC）标准的规定。

对于减小感应电压扰动和电磁干扰（EMI）影响的措施，应由电气装置的规划者和设计者予以考虑。已在 GB/T 16895.16 中给出了这些措施。

### 6.3 可维护性

应做出电气装置在其预期寿命期间可以被合理预期地接受检修的频率和级别的评估。在管理的机构对装置的运行负有责任时，应向该管理机构报告。

关于预期维修的频率和级别，要考虑的有：在预期寿命期间，可能需要任一定期性的检验和测试、维护和检修，都能迅速而又安全地完成，而且在预期寿命期间，为了安全，应保持防护措施的有效性，而且对于装置的正常运行，设备的可靠性是与预期寿命相适应的。

### 6.4 安全设施

#### (1) 概述

对于安全设施及其特性的要求，经常是由法定的管理机构来规定的，他们的要求是必须遵照执行的。安全设施如应急疏散照明、消防警报系统、用于消防泵的装置、消防队的升降机、烟雾和热量排除设备。

下列电源可用于安全设施：蓄电池；原电池；与正常供电无关的发电机组；供电网络的单独的供电馈电线路，它有效地独立于供电网络的正常的供电线路（见 GB16895.20 的 556.4.4）。

#### (2) 分类

安全设施的供电有以下两种情况：非自动供电，其启动是由操作人员操作的，或自动供电，其启动与操作人员无关。

自动供电按转换时间分类如下：

1) 不断电：这种自动供电，在转换期间，例如，对于电压和频率的变化幅度，能保证在规定的条件内连续地供电。

2) 很短时间断电：0.15s 之内能有效地自动恢复供电。

3) 短时间断电：在 0.5s 之内能有效地自动恢复供电。

4) 中等时间断电：在 15s 之内能有效地自动恢复供电。

5) 长时间断电：有效的自动恢复供电的时间大于 15s。

### 6.5 供电连续性

在装置的预期寿命期间，在认为有必要的情况下，对所有需要供电连续性的每一回路都应作出评估。宜考虑的特性是：系统接地的选择；保护器件的选择，以便实现选择性；回路的数量；多路电源；监控装置的使用。

（刘屏周）

## 第4章 建筑物电气装置的安全保护

### 1 电击防护

电气装置的设计安装应保证电气安全和正常实现装置的功能。在电气安全中则应以人为本首先保证人身安全,避免发生人身电击致死之类的事故。这一电气安全要求即电击防护。

当人体同时触及不同电位的导电部分时,导体间的电位差即是人体承受的接触电压。此电压通过人体阻抗而产生接触电流,视接触电流的大小和通电时间的长短,人体将产生不同的生理效应。在病人进行某种电疗时,人体通过微量电流,它被称作微电接触,却能起到治病救人的效果。但在发生电气事故时,人体通过过量电流和持续过长时间,人体将受到电的伤害或发生心室纤维性颤动等现象而致死,这种病理效应被称作电击,俗称触电。为保证人身安全,在电气装置的设计安装中,必须采取各种有效措施防范电击事故的发生。

#### 1.1 直接接触电击防护

人身电击有直接接触电击和间接接触电击之分。本节内将介绍直接接触电击的防护措施。直接接触电击防护是指电气装置没有发生故障正常工作时,人体触及带电部分的电击事故的防范。

##### 1.1.1 带电部分的绝缘覆盖

采用这种防护措施时,电气设备带电部分全被绝缘物质覆盖,以防人体与带电部分接触。只有在绝缘遭到破坏或损伤时这一防护措施才失效。

工厂生产的电气设备,其绝缘应符合产品标准对绝缘的要求,它应能在正常使用寿命期间耐受所在场所的机械、化学、电和热的影响。油漆、凡立水之类的物质不能用作防直接接触电击的绝缘。在施工现场安装中采用的防直接接触电击的绝缘物质也应像工厂产品的绝缘物质那样,通过检验来验证其是否具有相同的性能。

##### 1.1.2 遮栏或外护物

这一措施是用遮栏或外护物来阻隔人体触及带电部分。所谓遮栏是指只能从通常接近的方向来阻隔人体接触的措施,例如在车间内离地高处沿墙面敷设人体接触不到的裸母线,但母线经过一定高度的通风平台时,裸母线离平台地面的高度如不足 2.5m 可能被维护管理人员不经心地触及。为此在工程安装时,需在通风平台靠近裸母线处安置遮栏,从面对墙的方向阻隔人体的接触。外护物是指能从所有方向阻隔人体接触的措施,例如制造厂为电气设备配置的设备外壳、施工时敷设导线加套的槽盒、套管等都是外护物。

这种措施应能防止大于 12.5mm 的固体物或人的手指进入,即其防护等级应至少为 IP2X。带电部分的上方如需防护,其防护等级应至少为 IP4X,即需防止大于 1mm 的固体物进入。

遮栏和外护物应牢固地加以固定,只能在使用工具或钥匙或断开带电部分电源的条件下才能挪动。

##### 1.1.3 阻挡物

这一措施只能防人体无意地与带电部分接触,例如用栏

杆、网屏、栅栏等阻拦人体接近带电部分。它对洞孔的尺寸没有要求,只是对接近带电部分的人起阻拦一下的提醒作用,不能防范人体有意的接触。

阻拦不需使用工具或钥匙就可挪动,但需注意其固定的可靠性,以防被不知晓电气危险的人无意识地挪动位置。

##### 1.1.4 带电部分置于伸臂范围以外的布置

这一措施也只能用以防范人体与带电部分的无意的接触。这使人体可同时触及的不同电位(例如任一电位与地电位)部分之间的距离大于人体伸臂的距离。这一距离 IEC 标准规定为 2.5m,如图 3.4-1 所示。图 3.4-1 中 2.5m 为人体左右平伸两臂的最大水平距离,或向上伸臂后与人体所站地面 S 间的最大垂直距离;1.25m 为人体向前伸臂与所站位置间的最大水平距离;0.75m 为人体下蹬,伸臂向下弯探的最大水平距离。这些距离都是对没有持握工具、梯子之类长物体的人体而言的。如果人手中持握有这类物件,则伸臂距离应相应加长。

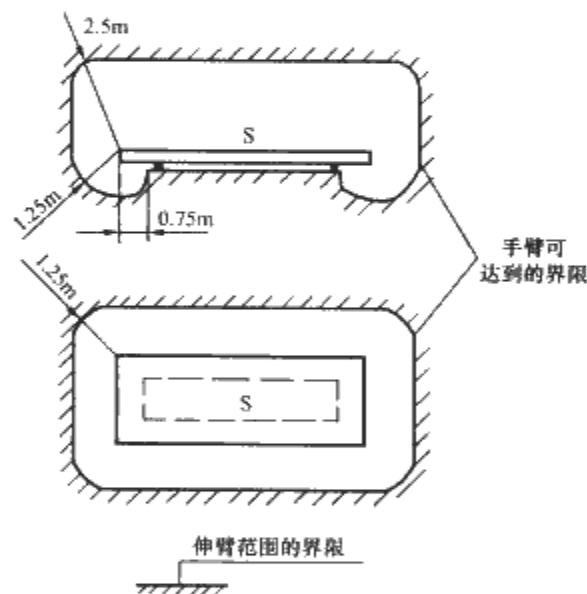


图 3.4-1 伸臂范围

如果人站立的水平方向有上述防护等级低于 IP2X 的阻挡物阻挡时,则伸臂距离应不自人体而应自阻挡物算起。在向上伸臂的方向内,即使有上述阻挡物,伸臂范围仍自图 3.4-1 所示站立面 S 算起。

##### 1.1.5 装用 30mA RCD 的后备措施

如果上述四种防直接接触电击的措施因故失效,例如家用电器电源插头线上的绝缘破损芯线外露,又如防护用的遮栏被人挪走,这时如果回路上装有额定动作电流不大于 30mA 的 RCD,则这时 RCD 还可以切断电源避免一次电击伤亡事故。这一措施是前四种措施的后备措施。

需要说明它只能作为后备措施,不能替代前述四种防直接接触电击措施作为主要措施。这是因为发生直接接触时,如人体同时触及同一回路两个不同电位的带电导体时,例如触及一回路内的相线和中性线,人体遭受电击而 RCD 是无法动作的。另外,当站立地面的人体一手触及 220V 相线时,假如人体阻抗为 1500Ω,则接触电流约 150mA,为 RCD 额定动作电流 30mA 的 5 倍,按 RCD 产品标准这时动

作时间不大于 0.04s, 查图电流通过人体的效应的曲线 L 人体可不致发生心室纤颤, 但如 RCD 使用日久, 由于机构上的原因动作稍缓, 电流效应点可能落在电流通过人体的效应的曲线 L 的右侧, 所以用 RCD 防直接接触电击, 并非绝对可靠。因此绝不能因有 RCD 作后备措施而忽视对上述四种防直接接触电击措施的设置和检验。

## 1.2 间接接触电击防护

### 1.2.1 电气设备按防间接接触电击措施的分类

当电气装置因绝缘破损发生接地故障, 原本不带电压的外露导电部分因此带对地故障电压时, 人体接触此故障电压而引起的电击称作间接接触电击。接地故障即带电导体与地间的短路, 如图 3.4-2 所示。“地”是指电气装置内与大地连接的外露导电部分、装置外导电部分和大地。接地故障引起的间接接触电击事故是最常见多发的电击事故, 接地故障引起的电弧、电火花也是最常见多发的电气短路火灾起火源。就电气灾害而言, 接地故障远较一般短路具有更大的危险性, 而对接地故障引起的间接接触电击的防护则远比直接接触电击复杂。为便于区别和说明, IEC 标准不称它为“接地短路”, 而称为“接地故障”。

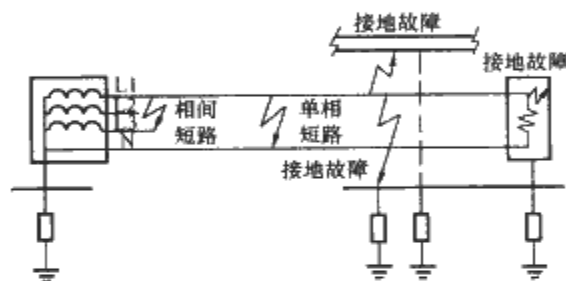


图 3.4-2 接地故障和带电导体间的短路

间接接触电击由接地故障引起, 其防护措施就因接地系统类型的不同而各不相同。间接接触电击防护中的一部分措施系在电气设备的产品设计和制造中予以配置, 另一部分措施则是在电气装置的设计安装中予以补充。因此电气工程设计人员必须了解电气设备本身具备的防间接接触电击的措施, 再在工程设计中补充必要的措施, 以便能相辅相成, 使防间接接触电击的措施臻于完善。

IEC 产品标准将电气设备的产品按防间接接触电击的不同要求分为 0、I、II、III 四类。分类的顺序并不说明防电击性能的优劣, 它只是用以区分各类设备对防电击的不同措施。

#### (1) 0 类设备

这类设备我国过去曾大量应用, 它具有机械强度高的金属外壳, 但它只靠一层基本绝缘来防电击, 且不具备经 PE 线接地的手段。例如虽具有金属外壳但电源插头没有 PE 线插脚的台灯、电风扇等家用电器即属 0 类设备。当它唯一的一层基本绝缘损坏时就可能发生电击事故。这类设备只能在绝缘场所内使用, 不然就需用隔离变压器按电气分隔措施的要求来供电, 借以防止电击事故的发生。绝缘场所就 220/380V 电气装置而言是指地板和墙的绝缘电阻都大于 50kΩ, 且对与大地有电气连通的金属构件、管道等均采取隔离措施的场所。所谓隔离变压器是当相对地电压不大于 250V 时, 绝缘通过 3750V 耐压 1min 试验, 或一、二次绕组间置有接地屏蔽层的变比为 1:1 的变压器。由于满足这些条件比较困难, 0 类设备已渐趋淘汰。

#### (2) I 类设备

这类设备是目前应用最广泛的一类设备, 它也具有金属

外壳, 但它除靠一层基本绝缘来防电击外还另有补充措施, 即它具有经 PE 线接地的手段。这样当基本绝缘损坏带电导体碰设备金属外壳时, 外壳电位因接地而大大降低, 同时经 PE 线构成的接地通路也可使产生的接地故障电流返回电源, 这时回路上的熔断器、断路器或剩余电流动作保护器 (以下简称 RCD) 等防护电器即可检测出故障电流而及时切断电源。由于接触电压的降低和人体通过电流时间的缩短, 人体发生心室纤颤等病理效应导致电击死亡的危险大大减少。由于这类设备具有机械强度高的金属外壳和简单有效的防电击措施, 它有一定的适用范围, 这是它能得到广泛应用的一个重要原因。

#### (3) II 类设备

这类设备除一层基本绝缘外还加有第二层绝缘以形成双重绝缘, 或采用相当于双重绝缘水平的加强绝缘, 例如目前带塑料外壳的家用电器都属 II 类设备。由于在产品设计中提高了绝缘强度, 消除了发生接地故障的可能性, 在电气装置的设计中就没有必要再补充防间接接触电击措施。有些电子设备, 例如电视机、收录机等, 它的塑料外壳起第二层绝缘的作用, 但它有金属的拉杆天线, 有人担心它是否可能因内部电路的绝缘损坏而使拉杆天线带危险电压。这一担心是不必要的, 因为在天线回路里串联有电容量小至几千皮法的电容器, 它对高频信号畅通无阻而对工频电流却等同于绝缘, 所以这类设备仍属 II 类设备。

II 类设备的绝缘外壳的机械强度和耐热水平不高, 其外形尺寸和用电功率都不能设计得过大, 使它的应用范围受到限制。

#### (4) III 类设备



这类设备的防间接接触电击原理是降低设备的工作电压, 即根据不同环境条件采用适当的特低电压供电, 使发生接地故障时或人体直接接触带电导体时, 接触电压都小于接触电压限值, 因此这种设备被称作兼防间接接触电击和直接接触电击的设备。所谓接触电压限值是指可能引发心室纤维性颤动致死的最小接触电压值。就交流电压而言, 在干燥环境为 50V, 潮湿环境为 25V, 水下为 12V (设备额定电压)。特低电压是指相对地或相对相间的标称电压为交流 50V 及以下的电压 (直流设备为线对地或线对线间的标称电压为 120V 及以下的电压)。在电气产品设计中采用这种特低电压后, 此电压本身不会引起人身电击伤亡的危险, 但在工程应用中还需为它设置电气分隔措施。取得这种特低电压最通常的方法是将 220V 或 380V 电压经变压器降为特低电压。这台变压器必须是上述满足绝缘要求的隔离变压器。不能采用自耦变压器来作特低电压电源, 因为其一、二次绕组在电气上是连通的, 其绕组如发生开路故障, 二次电压可高达一次电压。采用特低电压供电时, 应尽量采用回路电气分隔措施, 即将特低电压回路导体与包括一次回路导体在内的其他回路导体相分隔。换言之它与其他回路导体之间没有电的联系, 特低电压设备的金属外壳可与地接触, 但不能通过 PE 线进行接地。

III 类设备的额定电压被规定为不大于 50V, 其使用功率和应用范围不可避免地受到很大的限制。

综上所述可知, 在电气设备的产品设计中已为各类设备采取了不同的防间接接触电击措施。但仅靠产品上采取的措施并不全能满足防电击要求, 往往还需在电气装置的设计、安装中补充一些必要的防电击措施, 也即防间接接触电击措施有赖于产品设计和电气装置设计间的协调配合, 相辅相成而臻于完善。表 3.4-1 中概括了各类电气设备在防间接接触

电击中，产品设计和电气装置设计应分别实现的防电击措施。

表 3.4-1 电气设备和电气装置防间接接触电击的组合防护措施

电气设备 防电击类别	防 护 措 施			电气设备的 防电击标志
	电气设备部分		电气装置部分	
	基本防护 措施	补充防护措施		
0	基本绝缘	—	设置绝缘的场所	无标志
			设置电气回路的分隔	
I	基本绝缘	连接 PE 线的接线端子	与接地的 PE 线连接和自动切断电源	
II	基本绝缘	附加绝缘	—	
	加强绝缘或等效的结构处理		—	
III	采用特低电压	—	设置由气分隔的特低电压电源	

1.2.2 用自动切断电源和连接 PE 线接地的防间接接触电击措施

最广泛采用的 I 类设备在绝缘损坏发生接地故障人体触及危险电压时，如能在人体发生心室颤动导致死前及时切断电源，就可避免死亡事故的发生。上述防电击措施的正确应用与接地系统类型（TN、TT 系统或 IT 系统）以及回路上装用的防护电器的类别（过电流防护电器、RCD 或绝缘监测器）等因素有着密切的关系。

(1) 自动切断电源措施的几个基本要求

1) 接地。I 类设备的外露导电部分应按不同接地系统的不同要求经 PE 线进行接地，如果没有作接地或等电位联结，仅自动切断电源不能单独成为一个防电击措施。人体能同时触及的外露导电部分应接至同一接地系统而共同接地，以使人体同时接触的不同导电部分间的电位差尽量小。

2) 接触电压限值。前文已叙及，不同潮湿程度环境条件下的接触电压限值  $U_L$  是不同的，干燥和潮湿环境条件下的  $U_L$  值分别是 50V 和 25V。自动切断电源这一防间接接触电击措施的使用应按不同环境条件依不同要求处理。例如在干燥环境条件下  $U_L$  超过 50V 须切断电源，而在潮湿环境条件下  $U_L$  超过 25V 就须切断电源。如果在游泳池之类的水中，电气设备的额定值应不大于 12V，220V 的设备和线路在游泳池内是不允许使用的。在喷水池内不得使用 220V 的潜水泵和下水灯时，在这些设备通电情况下是不允许人体下水的。电气装置的防电击设计必须注意这些区别。

3) 电源的自动切断。当 TN 系统或 IT 系统电气装置内某一点发生接地故障时，该点的电源应由一防护电器自动及时切断，使电气装置内由此引起的危险接触电压不持续存在。手持式和移动式设备因人手不能摆脱，必须在规定时间内迅速切断电源，固定式设备和配电线路不存在这一问题，可在 5s 内切断电源。切断时间要求不大于 5s 是因为持续时间过长的故障电流可能对线路和设备产生有害的热效应的缘故。

(2) 总等电位联结

1) 为减少人体同时接触不同电位引起的电击危险，同时也为了防范雷电危害以及满足信息设备抗干扰等要求，IEC 标准十分强调总等电位联结系统的设置。总等电位联结是指在一建筑物的电源进线处将下列可导电部分互相连通（见图 3.4-3）。

- ①进线处的 PE 母排或 PE 干线。
- ②人工接地极（如果有）引入线。
- ③水道干管。
- ④燃气干管。
- ⑤通风空调干管。
- ⑥建筑物的金属结构。

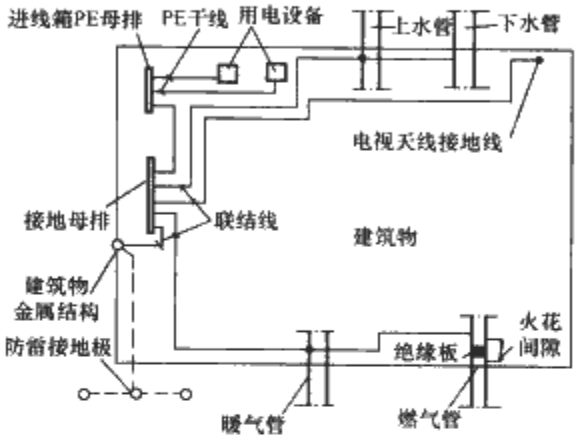


图 3.4-3 建筑物内的总等电位联结平面图示意

这里使用“联结（bonding）”一词是为了有别于常用的“连接（connection）”一词。“联结”一词是将多个可导电部分互相连通（interconnection）的意思。它虽也是一种连接，但它主要用来传导电位使电位相等或接近，而非用来像 PE 线那样传送大幅值的故障电流，所以用于防电击目的的联结线选用的截面可以比 PE 线小得多。在 IEC 标准和其他国家电气标准中，不论是低频系统还是高频系统都用“联结”作为等电位联结的简写，本书中也采用这一简写。同理，联结线也即是等电位联结线的简称。

建筑物内作了总等电位联结后，其电气装置的 PE 线和外露导电部分、电气装置外导电部分和接地系统都互相连通，从而将建筑物形成一类似各导电部分电位相等或接近的等电位法拉第笼。这样当任一管线（包括电气线路）因故导入危险高电位时整个建筑物将同时升高至同一电位，在建筑物内将不出现电位差，借以避免许多电气危险。

2) 总等电位联结对不同接地系统的作用是不尽相同的。对于常用的 TN 系统，其作用如下：

- ①总建筑物内发生接地故障时，它可降低由此引起的接触电压，这将在下文内叙述。
- ②当建筑物外的电源发生接地故障时，它可消除沿 PE（PEN）线导入的对地电压在建筑物内形成的电位差引起的电气事故，这也将在下文中叙述。

3) 对于常用的 TT 系统，总等电位联结的作用不似 TN 系统那么重要，这是因为：

- ①当建筑物内发生接地故障时，虽然总等电位联结可大大降低接触电压，但在 TT 系统内的防电击主要靠 RCD 来迅速切断电源，接触电压的高低已无多大意义。
- ②TT 系统的 PE 线引自与电源系统无任何关联的单独的接地极，它不存在沿自电源侧引来的 PE 线导入故障电压的问题。

虽然总等电位联结对各种接地系统的作用和重要性并不相同，但为确保电气安全和防雷电危害，以及适应信息系统抗电磁干扰的需要，各类接地系统建筑物电气装置内都须设



置总等电位联结,并通过总等电位联结将各种电气系统和电气设备共同接地,以防不同电气系统间的电位差引起危害。

当一大型建筑物有多个电源进线时,每个电源进线都需按要求实施总等电位联结。各个总等电位联结系统应就近通过联结线互相导通,使整个建筑物内各个电源进线的参考电位处于同一电位水平上。在电气装置故障情况下,建筑物内的电位水平将高于建筑物外的电位水平,但就低压电气装置而言,户内外地面上因故障而引起的电位差是有限的,不必考虑跨步电压的危害。

为了便于连接联结线,如图 3.4-3 所示,需在电源进线箱旁安装一具有多个接线端子的铜质接地母排。它可装在一箱(盒)内并嵌装在墙内,箱(盒)应设有用钥匙或工具才能开启的门,以防无关人员触动。不得利用配电箱内的 PE 母排来代替此接地母排。因配电箱内有 220V 的相线母排,在配电箱内检测等电位联结系统的导通性时易不慎触及相线母排而引发人身电击或电气火灾等事故。

可燃气体(或液体)管道必须纳入总等电位联结范围内,以免出现电位差。但 IEC 标准也规定燃气和燃油管道不允许用作接地极,以避免在此等管道内通过大电流。为此应在该等管道入户后 5m 长度内插入一绝缘段,以与户外地下管道绝缘,这样做也是为了管道网阴极保护的需要。最简便的做法是在法兰盘处插入一绝缘板。但在建筑物遭雷击时,雷电冲击电压可能击穿该处间隙而通过管道泄放雷电流,在管道内产生危险电火花。为此需如图 3.4-3 所示在法兰盘两侧间跨接一火花间隙,使电火花在管道外发生。此部分工作应由燃气公司完成。

就防间接接触电击而言,设置总等电位联结后,电气装置接地系统的人工接地极的接地电阻(包括 TN 系统重复接地的接地电阻)阻值大小已无意义,因接地电阻的大小和接触电压已没有关系。飞机内电气装置是无法接大地的,其接地电阻为无限大,飞机内只是以金属机身代替大地,以其电位为参考电位而进行等电位联结或“接地”,飞机机身是一个良好的等电位的法拉第笼。所以人在飞机电气装置内十分安全,其复杂的电子信息设备的工作也十分正常,不受干扰。同理对设有总等电位联结的建筑物电气装置,它以总等电位联结系统的电位为参考电位而不是以大地电位为参考电位,一般没有必要为电气安全或功能性的需要设置人工接地极以取得大地电位。另外,总等电位联结所接的基础钢筋、自来水管以及埋地电缆的金属外皮等本来就是低接地电阻和长寿命的自然接地体,它们原本已起着良好接地极的作用,更无必要再费时费力地设置阻值高而寿命短的人工接地极。但也有例外的情况,例如当基础被地下室防水层包裹而对地绝缘而又无地桩钢筋可作自然接地极时,需为雷电流和静电电荷的对地泄放而打人工接地极或为进一步降低接地电阻而补充人工接地极。此接地极也需与建筑物的总等电位联结相连通,从而实现等电位以防止雷电流在接地极上产生的高电位向建筑物跳击放电而引发事故。

### (3) 辅助等电位联结和局部等电位联结

在有总等电位联结的建筑物内,如某一回路的过电流防护电器不能满足自动切断电源防电击的时间要求,常需加作辅助等电位联结或局部等电位联结来降低接触电压至限值以下,以防止电击事故的发生。如图 3.4-4 所示,图中一末端回路的用电设备发生接地故障,该设备距建筑物进线箱很远,接地故障回路阻抗甚大,发生接地故障时 PE 线上全长所产生的电压降,也即设备处的接触电压,超过了其限值 50V,又由于回路阻抗大、故障电流小,末端配电箱上的过

电流防护电器(断路器、熔断器)不能在规定时间内切断电源,这时人体若同时触及故障设备和其旁带地电位的金属管道或结构就有遭受电击的危险。消除这一危险有多种方案可供选择,例如可加大导线截面以增大故障电流,缩短切断电源时间;也可装用 RCD 迅速切断电源等。但最经济有效的方法是用短短的一根联结线,如图 3.4-4 所示的虚线所示将设备和管道结构进行联结,使两者的电位同时升高至同一电位水平上。由于不存在电位差,即使切断电源时间超过规定值,电击事故也无由发生。这一根短导线所实现的两导电部分间的等电位联结被称作辅助等电位联结。



图 3.4-4 采用辅助等电位联结措施防间接接触电击

如果图 3.4-4 所示场所内有多台设备和多种管道结构,如果都按上述做法操作,许多辅助等电位联结将十分繁琐。这时可按总等电位联结的做法在末端配电箱(或分配电箱)近旁设一端子板,在此板上用几根联结线将此局部场所内的 PE 线和各种金属干管道结构互相联结,这时寥寥几根联结线通常可将此局部场所内任一设备故障时的接触电压限制到接触电压限值以下。它还可消除沿 PE 线或金属管道结构传导来的故障电压引起的危险电位差。这种按具体情况和要求在局部场所的小范围内作类似总等电位联结的防电击措施被称作局部等电位联结。发达国家十分重视局部等电位联结的应用,例如他们在高层建筑的每一层楼都作局部等电位联结。这是因为除防电击外,他对防雷害和电气火灾以及对信息设备的抗干扰都是有好处的。在电击危险大的特殊场所,例如医院手术室、浴室、游泳池、喷水池等场所局部等电位联结更是必不可少的电气安全措施。

需要说明等电位联结系统不同于将电源和负载相连接的配电系统。就防电击而言,人体手和足活动范围不超过 2.5m,只要在 2.5m 范围内的电位差不大于接触电压限值即满足防电击要求,因此不要求用专线将总等电位联结的接地母排和局部等电位联结的端子板相连通。

关于各类等电位联结的具体安装可参阅国家标准 GB 16895.3 的有关规定,不多述。

### (4) TN 系统内自动切断电源的防电击措施

TN 系统内发生接地故障时,其故障电流通过回路的 PE 线返回电源。可能有三种不同情况出现:一是故障处两个相接触的金属部分因通过大幅值故障电流熔化成团而缩回,从而脱离接触,接地故障自然消失而不引发事故;二是两金属部分虽脱离接触但却建立了大阻抗的电弧,相当大一部分的相电压降落在电弧上,PE 线上电压降形成的接触电压往往不足以引起电击事故,其电气危险常表现为电弧引燃起火;三是两金属部分熔化后焊牢,成为故障点阻抗可忽略不计的“死”故障,这时因故障电流大,过电流防护电器能迅速切断电源。但如果因故不动作或切断不及时,而建筑物内 PE 线上大电流产生的大电压降形成的接触电压又超过接触电压限值,这时人体如触及带电的设备外露导电部分,就有可能导致间接接触电击致死事故。如果防护电器失效不动



作,故障持续时间过长,回路导体将产生异常高温而可能引起电气火灾。下面将讨论在TN系统中采用自动切断电源对间接接触电击事故的防范。

1) 切断电源的条件。在TN系统内选用的自动切断电源的防护电器和回路导体,应能满足在建筑物内发生接地故障时,在规定的时间内切断电源的要求。它可用下式表示

$$Z_s I_a \leq U_0 \quad (3.4-1)$$

式中,  $Z_s$  为故障回路阻抗,包括相线、PEN线、PE线和变压器(发电机)的阻抗,  $\Omega$ ;  $I_a$  为保证防护电器能在规定时间内,也即在人体发生心室纤颤致死前的时间内动作的最小电流,它为断路器整定电流或熔断器熔体额定电流  $I_n$  的若干倍,即  $I_a = K I_n$ , A;  $U_0$  为相线对地标称电压的方均根值, V。

在发生故障点阻抗可忽略不计的接地故障后,故障电流  $I_d$  必须大于  $I_a$  才能使防护电器在规定时间内动作,即

$$I_d > I_a$$

$$\text{而} \quad I_d = U_0 / Z_s$$

$$\text{故} \quad U_0 / Z_s \geq I_a$$

从而得出式(3.4-1)。从式(3.4-1)可知在TN系统内发生上述接地故障时,电源的切断与低压系统接地的接地电阻的阻值无关。

2) 总等电位联结与PE线重复接地防电击效果的比较。按我国习惯的做法,TN系统在进线处设置接地极作重复接地似乎是必不可少的。但按IEC标准作总等电位联结后,这种做法已经无多大意义了。重复接地是在建筑物低压电源进线处将电源端的系统接地重复做一次,以降低PE线的对地电位,从而降低发生接地故障时的接触电压。但做总等电位联结可以更多地降低接触电压,因此IEC标准并不强调人工的重复接地的设置,下面将对此作一分析。

如图3.4-5(a)所示常用的TN-C-S系统,在电源进线箱处PEN线被分为PE线和N线,虚线所示为重复接地,点划线所示为总等电位联结。当没有作重复接地和总等电位联结时,如果发生如图3.4-5(a)所示的接地故障,故障电流  $I_d$  如图3.4-5(b)等效图所示流经相线和PE线、PEN线返回变压器低压绕组

$$I_d = U_0 / Z_s = U_0 / (Z_L + Z_{PE} + Z_{PEN})$$

式中,  $Z_L$ 、 $Z_{PE}$ 、 $Z_{PEN}$  分别为相线、PE线和PEN线阻抗。假设人体阻抗为  $Z_t$ ,鞋袜和地板电阻为  $R_s$ ,变电所接地电阻为  $R_B$ ,因  $Z_t + R_s + R_B$  总和以若干千欧计,而  $Z_{PE} + Z_{PEN}$  总和以若干毫欧计,  $Z_t + R_s + R_B$  对  $Z_{PE} + Z_{PEN}$  的分流可忽略不计,则施加于人体上计及鞋、袜和地面电阻电压降的预期接触电压为

$$U_t = I_d (Z_{PE} + Z_{PEN}) \quad (3.4-2)$$

如果按如图3.4-5(a)所示的虚线在电源进线处作重复接地,其接地电阻为  $R_A$ ,则其等效图如图3.4-5(c)所示。从图3.4-5(c)可知  $R_A$  与  $R_B$  串联再与  $Z_{PEN}$  并联,也即  $R_A$  上的电压降为  $Z_{PEN}$  上电压降的分压,其值为  $I_d Z_{PEN} R_A / (R_A + R_B)$ 。作重复接地后,人体预期接触电压为  $Z_{PE}$  和  $R_A$  上电压降之和,即

$$U'_t = I_d Z_{PE} + I_d Z_{PEN} R_A / (R_A + R_B) \quad (3.4-3)$$

如按如图3.4-5(a)所示点划线作总等电位联结,PEN线上的电压降已在等电位联结范围以外,对人体接触电压已不产生影响,只剩下PE线的电压降对人体形成预期接触电压,其等效图如图3.4-5(d)所示。作总电位联结后人体预期接触电压仅为

$$U''_t = I_d Z_{PE} \quad (3.4-4)$$

由式(3.4-2)和式(3.4-3)可知作重复接地后降低的预期接触电压为

$$U_t - U'_t = I_d Z_{PEN} R_B / (R_A + R_B) \quad (3.4-5)$$

从式(3.4-2)和式(3.4-4)可知,作总电位联结后降低的预期接触电压为

$$U_t - U''_t = I_d Z_{PEN} \quad (3.4-6)$$

将式(3.4-5)和式(3.4-6)相除,并设  $R_A = 10\Omega$ ,  $R_B = 4\Omega$ ,得

$$(U_t - U'_t) / (U_t - U''_t) = (R_A + R_B) / R_B = (10 + 4) / 4 = 3.5$$

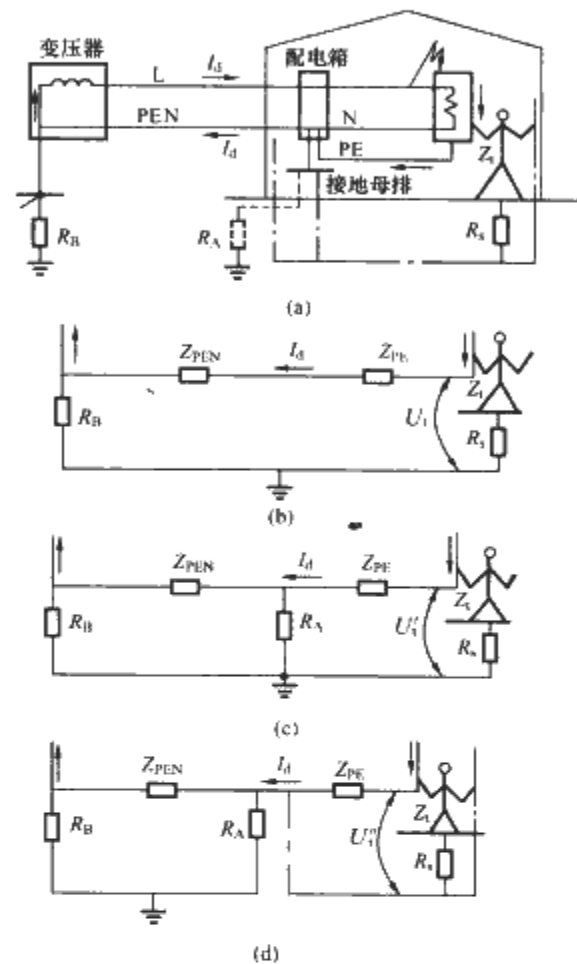


图 3.4-5 TN-C-S 系统在各种情况下的不同接触电压

(a) TN-C-S 系统建筑物内发生接地故障; (b) 未作重复接地的接触电压; (c) 作重复接地后的接触电压; (d) 作总电位联结后的接触电压

它说明在这种情况下,就降低预期接触电压的数值而言,作总电位联结降低的值为作重复接地降低的值的 3.5 倍,这充分证明作总等电位联结的效果远优于作重复接地。

不少电气专业人员认为重复接地可减轻中性线中断引起的烧坏单相设备的危害。实际情况并非如此,因大地通路阻抗为若干欧姆,而中性线阻抗仅若干毫欧,相差悬殊,前者不能代替后者,单相设备仍然要烧坏,只是烧坏时间稍长一些而已。

在作总等电位联结后,实际上已实现了TN系统的重复接地,因被联结的基础钢筋、金属水管、电缆的金属外皮等都是良好的自然接地极。由于它量大面广,其接地电阻往往在  $1\Omega$  以下;又由于有水泥的包裹和保护,它不会受酸性或碱性泥土的腐蚀,其寿命几乎为无限长。因此除极个别情况外IEC标准不要求设置人工的重复接地,对重复接地的接地电阻也没有要求,它只建议在有可利用的现成的自然接地体的地方,包括建筑物的电源进线处,尽量利用现成的自然接地体作为TN系统的重复接地的接地极,以使在发生接地故障时电气装置外露导电部分的电位更接近地电位。在没有自然接地体可利用时,不必花费人力物力去设置人工的重复

接地的接地极。这是因为电气装置外露导电部分通过 PE 线与电源端接地的中性点的连接已实现了接地，而总等电位联结又具有比人工重复接地更好的效果的缘故。目前电气设计安装中人工重复接地极的设置只是旧习惯的因循沿袭，浪费人力物力，并无科学依据。

3) 切断电源的允许最长时间。从前文可知，固定式电气设备如发生接地故障，人体触及它时可立即摆脱而不致发生电击致死事故，因此对固定式设备以及配电干线切断电源的时间，IEC 标准没有严格的要求。但接地故障总需及早切断，不然仍可能发生线路烧损、电气火灾或其他电气事故。综合考虑线路在接地故障时的热承受能力、电动机启动时过电流防护电器误动作的避免、防护电器的合适动作灵敏度以及线路的合理截面等因素，IEC 标准将各种接地系统切断固定设备和配电干线电源的允许最长时间规定为 5s。

手持式和移动式设备因经常挪动，较易发生接地故障，而一旦发生故障时人手往往不能摆脱带故障电压的设备而使人体持续通过接触电流，为此其防护电器切断电源的时间不应超过人体发生心室纤维性颤动的允许时间值。计算各种情况下的接触电压是项十分复杂费时的工作，为求简化，IEC 标准规定 TN 系统可不按接触电压而按电气装置的标称电压来确定一统一的最长切断电源的时间来防电击事故，下面将对此作一简述。

TN 系统内发生接地故障后的预期接触电压  $U_t$  值可依下式估算

$$U_t = U_0 c m / (m + 1) \quad (3.4-7)$$

式中， $c$  为与作有总等电位联结的建筑物电气装置的电源侧阻抗有关的系数，也即上述作总等电位联结后降低预期接触电压的系数，其值为 0.6~1； $m$  为 PE 线电阻与相线电阻的比值，也即其截面比值的倒数，其值为 1~3。按理  $m$  值应取阻抗的比值，IEC 考虑电线穿管回路和电缆回路中的相线和 PE 线十分靠近，回路电感小，与电阻相比，特别是截面为 95mm<sup>2</sup> 及以下截面的回路，电感可忽略不计，因此  $m$  值只取电阻的比值。

通常情况下  $c$  取为 0.8， $m$  取为 1，代入式 (3.4-7) 得

$$U_t = 220 \times 0.8 \times 1 / (1 + 1) \text{V} = 88 \text{V}$$

查本篇第 2 章内的预期接触电压和通电时间的关系曲线得允许最长切断电源时间  $t$  为 0.45s。按有关 IEC 电压标准，国际上以后通用的标准标称电压为 230V 而非 220V，故 IEC 取  $t$  值为 0.4s。为与国际标准接轨我国迟早要将 220V 标称电压改为 230V。为使我国有关规范与 IEC 标准相一致，也取此时间值为 0.4s。当标称电压为 220V 时，此值略偏保守。

$t=0.4\text{s}$  是对正常的干燥环境而言，若为潮湿环境则按该曲线得  $t=0.25\text{s}$ ，但 IEC 标准对此类潮湿环境的  $t$  值未作出统一的规定。当相电压不为 230V 而为 127V、277V、400V 及大于 400V 时，IEC 标准规定干燥环境的  $t$  值分别为 0.8s、0.4s、0.2s、0.1s。

4) 电击防护电器的选用。就防电击而言，TN 系统内可采用下列电击防护电器：

- ① 过电流防护电器。
- ② RCD。

当 TN 系统内电气设备发生故障点焊“死”的接地故障时，设备外壳上故障电压高，电击危险很大，但这时故障电流也很大，可用熔断器、断路器等防过电流的开关电器来切断电源。其切断时间需满足上述  $t=5\text{s}$  和  $t=0.4\text{s}$  的要求。如果采用熔断器作电击防护，按我国《低压配电设计规范》

(GB 50054—1995) 的规定，接地故障电流  $I_d$  与熔体额定电流的倍数应不小于表 3.4-2 所列值。

表 3.4-2 TN 系统内采用熔断器防电击的  $I_d/I_n$  值

$I_d/I_n$	熔体额定电流 $I_n(\text{A})$	4~10	16~32	40~63	80~200	250~500
切断电源时间 $t(\text{s})$						
$\leq 5$		4.5	5	6	7	
$\leq 0.4$		8	9	10	11	—

如果采用断路器作防电击电器，不论要求  $t \leq 5\text{s}$  或  $t \leq 0.4\text{s}$  都需借其瞬时动作的电磁脱扣器来切断电源。考虑我国产品制造误差和电网电压偏差等因素后，接地故障电流  $I_d$  与瞬时动作整定电流  $I_a$  的倍数  $I_d/I_a$  应不小于 1.3，以确保电击防护的有效性。

与过电流防护电器相比，RCD 对接地故障引起的电击事故的防范具有很高的动作灵敏度。但在 TN-C 系统有 PEN 线的回路内 RCD 将不能动作，这时只能装用过电流防护电器来防电击。如需装用 RCD，则必须在 RCD 的电源侧将 PE 线自 PEN 线引出接设备外壳，以使 RCD 能有效动作，换言之，必须采用 TN-C-S 系统。

在 TN 系统电气装置内的无总等电位联结作用区内，例如在户外，沿电源线路导来的故障电压如果大于接触电压限值可能在这一区内引起电击事故。如图 3.4-6 所示，一建筑物由一低压架空线路供电，因相线落入水塘而发生接地故障。因受图 3.4-6 中变电所接地电阻  $R_B$  和故障点接地电阻  $R_E$  的限制，接地故障电流不大，假设为 20A，它不足以使变电所出线过电流防护电器切断电源。设  $R_B=4\Omega$ ，则  $R_B$  上的持续电压降即 PEN 线以及与其连接的 PE 线、中性线上的持续故障电压  $U_t = I_d R_B = 20 \times 4 \text{V} = 80 \text{V}$ 。当此  $U_t$  沿 PE 线传导到建筑物内所有外露导电部分上时，由于总等电位联结的作用，建筑物内电气装置外露导电部分和装置外导电部分都处于同一电位水平上。虽然整个建筑物对地电位升高至  $U_t=80\text{V}$ ，建筑物内并不出现电位差，不会发生电击事故。但该电气装置的户外部分并不具备等电位联结作用，图 3.4-6 中户外的一台设备因 PE 线传导电位而带  $U_t=80\text{V}$  的故障电压，人站立的地面的电位却仍为 0V，接触电压达 80V，接触此设备的人员不可避免地将遭受电击。

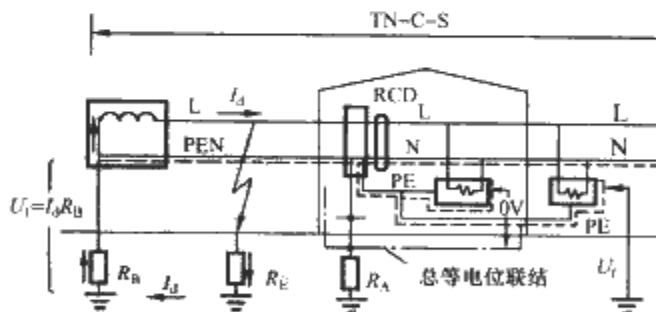


图 3.4-6 沿 TN 系统线路导来的故障电压可在无总等电位联结作用的户外引起电击事故

虽然设备回路上装设有 RCD，但却不能在此时切断电源，因为设备回路本身未出现接地故障，没有产生剩余电流。由此可知沿电源线路（也包括其他非电金属管线）传导故障电压引起的电击事故是不能用自动切断电源措施来防范的。

5) TN 系统内无总等电位联结作用区电击事故的防范。对于 TN 系统建筑物外无总等电位联结作用区内，对沿线路传导来的故障电压引起的电击事故，应尽量降低图 3.4-6 中电源处系统接地的接地电阻  $R_B$ （例如降低至  $2\Omega$ ，它包括所

有与  $R_B$  并联的接地电阻)来防范,如果做不到这点可采用下列措施来防范。

①建立局部的 TT 系统。如图 3.4-7 所示,在建筑物外无总等电位联结作用的户外部分另设置独立的接地极,并引出另一保护接地线(见图 3.4-7 中的  $PE'$  线)来作这部分电气装置的保护接地。从图 3.4-7 可知电源线路上的故障电压将无由传导至户外的设备外壳上,电击事故自然无从发生。此保护接地的接地电阻  $R'_A$  和电源端的系统接地的接地电阻  $R_B$  在电气上无联系,故它被称作局部 TT 系统。此局部 TT 系统内发生接地故障时,故障电流受接地电阻  $R'_A$  和  $R_B$  的限制,其值不大,不足以使回路首端的过电流防护电器动作,为此在此回路的出线端必须装设额定动作电流  $I_{\Delta n}$  不大于 30mA 的 RCD,以保证在该回路发生接地故障时有效切断电源。也正由于此 RCD 能迅速切断电源,在局部 TT 系统内发生故障时,  $R_B$  上产生的瞬间电压降不会在 TN 系统内引发电击事故。因此由于 RCD 的装用,在同一变压器供电的范围内, TN 系统和 TT 系统可以兼容而互不影响。

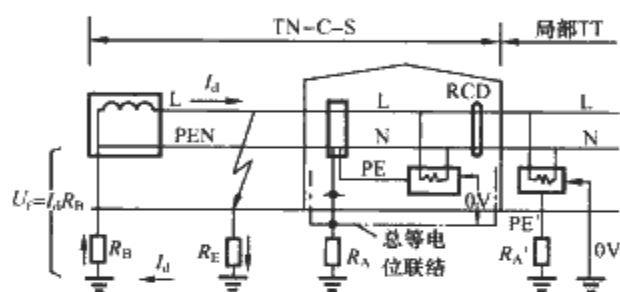


图 3.4-7 建立局部 TT 系统防范电击事故

②采用隔离变压器供电(电气分隔)。隔离变压器是绕组间或绕组与地间具有高度绝缘水平或绕组间具有接地的屏蔽层的变压器,其变比为 1:1。这种变压器的一、二次回路在电气上可以做到完全地分隔。因此在 TN 系统的无总等电位联结作用区内,可利用它来分隔沿 PE 线和 PE 线传导来的故障电压。如图 3.4-8 所示,一 TN-C-S 系统因发生接地故障使 PEN 线和 PE 线带故障电压  $U_f$ ,回路首端的过电流防护电器因故障电流小而不动作,使  $U_f$  持续存在。无总等电位联结作用区内的设备 A 的外壳因此也带此故障电压而存在电击危险。在同一区内,设备 B 经一隔离变压器 T 供电,变压器二次回路带电导体是不接地的,设备 B 的金属外壳也是不与 PE 线连接而不接地的。从图 3.4-8 可见经隔离变压器供电后,切断了故障电压传导至设备 B 金属外壳的路径,从而防止了这种电击事故的发生。

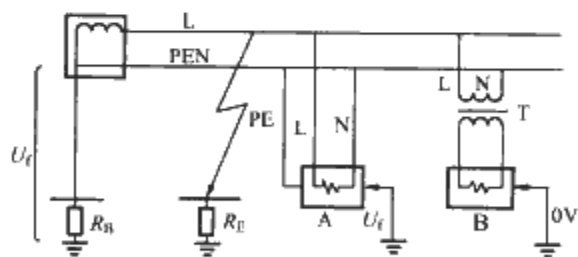


图 3.4-8 用隔离变压器隔离沿 PEN 线、PE 线传导的故障电压

③使用 II 类电气设备。如本章 1 中所述, II 类设备具有双重绝缘或加强绝缘。由于绝缘的完善,不必采用自动切断电源和连接 PE 线的防电击措施。由于不接 PE 线,不可能发生沿 PE 线传导来故障电压引起的电击事故,所以在无总等电位联结作用区内可以安全地使用 II 类设备。

6) 相线发生不经 PE 线的接大地故障时,故障电压的限制。前文已述,在 TN 系统中如果任一相在户外发生接地

故障,例如相线坠落在与大地接触的金属构件上或水塘里,如图 3.4-9 所示,电源中性点、PEN 线、PE 线以及电气装置的外露导电部分都将带对地故障电压  $U_f = I_d R_B$ 。在诸如户外没有总等电位联结作用的正常干燥场所,如果  $U_f$  超过 50V 就有发生电击事故的危险。为避免这一危险,IEC 标准规定需满足式(3.4-8)的要求,即

$$R_B/R_E \leq 50/(U_0 - 50) \quad (3.4-8)$$

式中,  $R_B$  为 TN 系统中所有并联的接地极的接地电阻,  $\Omega$ ;  $R_E$  为不与 PEN 线或 PE 线相连接的装置外露导电部分与大地间的最小接触电阻,  $\Omega$ ;  $U_0$  为回路对地交流方均根值标称电压, V。

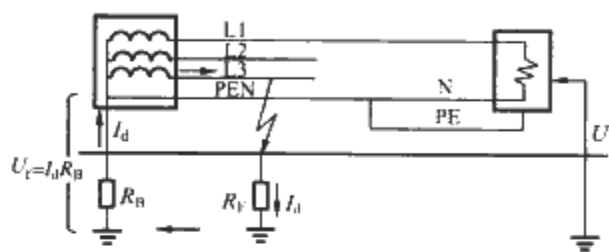


图 3.4-9 TN 系统一相接大地、设备外露导电部分带故障电压

对式(3.4-8)可作如下理解,为使图 3.4-9 中设备外露导电部分对地故障电压不超过 50V,应使

$$U_f = I_d R_B \leq 50V \quad (3.4-9)$$

而  $I_d = U_0/(R_B + R_E)$

代入式(3.4-9)得

$$U_0 R_B/(R_B + R_E) \leq 50V$$

略加推导即可得出 IEC 标准要求满足的式(3.4-8)。

以  $U_0 = 220V$  代入式(3.4-8),可得  $U_f$  小于 50V 的条件为

$$R_B \leq 0.29R_E$$

因  $R_E$  是个随机值,难以对  $R_B$  值规定一个安全限值。从防电击着眼,在可能条件下  $R_B$  值应尽量减小,为此应尽量降低变电所低压侧中性点的接地电阻  $R_B$ ,并尽量在 TN 系统的 PEN 线和 PE 线上利用自然接地极作重复接地以降低  $R_B$  的并联电阻。在发达国家一般认为  $R_B \leq 2\Omega$  是有效而可行的。

当满足式(3.4-8)要求时,因故障时接触电压小于 50V,在无总等电位联结作用的 TN 系统户外部分可不必采用局部 TT 系统。

7) 自同一配电箱引出不同切断电源时间要求回路时的电击危险。如前所述,手持式设备、移动式设备和固定式设备、配电回路在发生接地故障时,对切断电源的时间要求是不同的。在 TN 系统内前两者要求不大于 0.4s,后两者要求不大于 5s。如果这两类设备的供电回路从同一配电箱或同一配电线路引出,可能因切断时间的差异而引起电击事故。现以图 3.4-10 为例作分析。图中所示为一个高层建筑中的电气装置。其第一层内有电源进线配电箱和总等电位联结用的接地母排 MEB。顶层的末端配电箱引出回路分别供电给手持式设备 H 和固定式设备 M。当设备 M 发生接地故障时,故障电流经 a-b-c 一段 PE 线返回电源。这时图 3.4-10 中使用手持式设备的人如果站在导电的钢筋混凝土地面上,他将遭受电击的伤害。手持式设备的电位为 b 点的电位,通过结构钢筋的导体人站立的地面的 d 点的电位即为 c 点的电位,而 b-c 线段很长,其上的故障电压降  $I_d Z_{b-c}$  大大超过 50V,正是这一电压降通过 PE 线和导电地面在人的一手和两脚上形成施加的危险接触电压,使人体遭受电击。而固定式设备 M 的切断电源时间可长达 5s,虽然手持式设备回路上装有 RCD,但此回路本身并未发生接地故障, RCD 不动

作。在此过高的接触电压和过长的人体通电时间作用下,使用手持式设备的人可能因受电击且不能摆脱设备而招致伤亡。

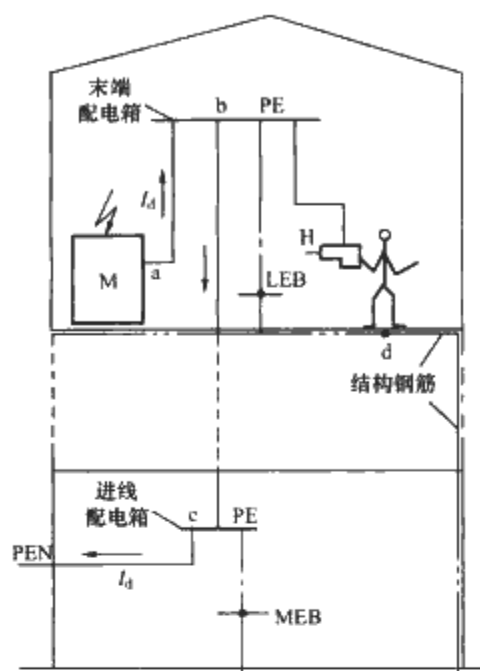


图 3.4-10 作局部等电位联结消除 TN 系统回路切断时间不同引起的电击危险

防范 TN 系统这类电击事故有几种措施可供选择:一种措施是放大线路截面积,以减小线段 b-c 的阻抗  $Z_{b-c}$ ,使其上的故障电压降小于 50V,以公式表示即为

$$Z_{b-c} \leq \frac{50}{U_0} Z_s$$

式中,  $Z_s$  和  $U_0$  分别为接地故障回路的阻抗和相线对地标称电压, V。另一种措施是在固定设备 M 的供电回路上加装 RCD, 以保证在 0.4s 时间内切断电源。这两种措施都有其缺点而不切实用。在此具体情况下, IEC 推荐采用的措施是在此楼层内作前述的局部等电位联结, 如图 3.4-10 所示点划线。图 3.4-10 中 LEB 为局部等电位联结的接线端子母排。作局部等电位联结后人体手脚间的电位差仅为图 3.4-10 中 b-d 一小段联结线上故障电流  $I_d$  的分流引起的电压降。由于联结线远离相线, 电感甚大, 绝大部分故障电流经 PE 线返回电源, 联结线上的分流极小, 因此 b-d 联结线上的电压降远远小于 50V, 即使设备 M 供电回路经 5s 才切断电源, 使用手持式设备的人因接触电压大大小于 50V 而仍安然无恙, 甚至连触电的感觉也没有。

从图 3.4-10 还可知, 此楼层作局部等电位联结后固定设备 M 在发生接地故障时的接触电压也大幅度地降低, 从  $I_d Z_{a-b-c}$  降为  $I_d Z_{a-b}$ 。

局部等电位联结可大大降低接触电压, 避免电击事故, 还可有效减少雷害对信息设备的干扰和损害, 而所增加的不过是寥寥几根不需复杂维护管理工作的联结线。

#### (5) TT 系统内自动切断电源的防电击措施

TT 系统内发生接地故障时, 其故障电流通过的故障回路内除部分是金属导体外, 还串联有电源侧的系统接地  $R_B$  和电气装置外露导电部分的保护接地  $R_A$  两个接地电阻。其故障回路阻抗较 TN 系统的故障阻抗大, 故障电流小。在大多数情况下, 其故障点不易熔焊, 故障点阻抗难以确定, 故障回路阻抗也因此难以在设计时确定。就防电击而言, 重要的是减少保护接地的接地电阻  $R_A$  和自接地极引至电气装置外露导电部分一段 PE 线上的电压降, 因为它是施加于人体的预期接触电压。除特殊场所外, 此电压超过限值 50V 时,

防护电器必须及时切断电源, 以防止电击致死事故的发生。

1) 切断电源的条件。为满足预期接触电压超过 50V 时防护电器能及时切断电源的要求, 故障电流  $I_d$  应大于防护电器在规定时间内切断电源的可靠动作电流, 即

$$I_d = 50/R_A \geq I_a$$

或

$$R_A I_a \leq 50V \quad (3.4-10)$$

式中,  $R_A$  为接地极电阻和自接地极接至外露导电部分的 PE 线电阻之和,  $\Omega$ ;  $I_a$  为使保护电器在规定时间内, 即在人体发生心室纤维性颤动致死前的时间内可靠动作的电流, A, 当采用 RCD 时,  $I_a$  为 RCD 的额定动作电流  $I_{\Delta n}$ 。切断电源的规定时间对固定式设备和配电线路为 5s, 对手持式和移动式设备为表 3.4-3 内所列值。

表 3.4-3 TT 系统内手持式和移动式设备的允许最大切断时间

预期接触电压 (V)	50	75	90	110	150	220
切断电源最大时间 (s)	5	0.6	0.45	0.36	0.27	0.18

2) 电击防护电器的采用。在 TT 系统内可采用下列自动切断电源的电击防护电器:

- ① RCD, 这是在 TT 系统内推荐采用的防电击电器。
- ② 过电流防护电器。

在 TT 系统内, 因接地故障电流  $I_d$  小, 为采用过电流防护电器设置很低接地电阻值的接地极, 以满足式 (3.4-10) 的要求通常是很困难的。例如采用 20A 的熔断器防电击, 接地电阻要求不大于 0.7  $\Omega$ ; 采用 32A 断路器防电击, 则不大于 0.5  $\Omega$ 。如此低的接地电阻值如为人工接地极在施工中通常是难以实现的, 为此在 TT 系统内推荐采用 RCD 防电击。采用 RCD 后对接地电阻的要求可放宽很多, 例如常用的额定动作电流  $I_{\Delta n}$  为 30mA 的高灵敏度 RCD, 按式 (3.4-10) 计算,  $R_A$  的电阻值可为 1666  $\Omega$ , 装在大建筑物内的第一级 RCD, 如  $I_{\Delta n}$  为 1A,  $R_A$  也不过 50  $\Omega$ , 这都是很容易实现的。

3) 总等电位联结在 TT 系统中的作用。在 TT 系统建筑物电气装置内做总等电位联结后, 其预期接触电压将比 TN 系统更大幅度地下降。如图 3.4-11 所示, 一建筑物电气装置开始时只设置了 TT 系统单独的保护接地 (图中的  $R_A$ ), 未作图中点划线所示的总等电位联结。发生图 3.4-11 所示设备碰外壳接地故障时其预期接触电压  $U_t$  为故障电压  $I_d$  在接地电阻  $R_A$  和 PE 线上的电压降, 即

$$U_t = I_d (R_A + Z_{PE}) = \frac{U_0}{R_A + Z_{PE} + R_B + Z_L} Z_L (R_A + Z_{PE}) \quad (3.4-11)$$

式中,  $Z_L$  为故障点阻抗,  $\Omega$ 。

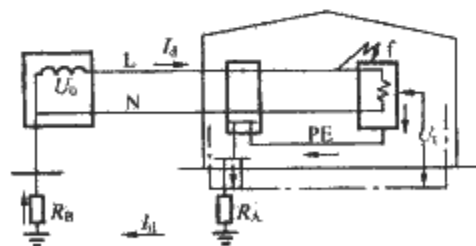


图 3.4-11 总等电位联结大幅度地降低 TT 系统的预期接触电压

在设置点划线所示的总等电联结后,  $R_A$  位于总等电位联结以外, 预期接触电压将降低为

$$U'_t = U_0 Z_{PE} / (R_A + Z_{PE} + R_B + Z_L + Z_t) \quad (3.4-12)$$



从式 (3.4-11) 和式 (3.4-12) 可知, 做总等电位联结后预期接触电压下降百分数为

$$\frac{U_1 - U_1'}{U_1} \times 100\% = \frac{R_A}{R_A + R_{PE}} \times 100\% \quad (3.4-13)$$

试设  $R_A = 4\Omega$ ,  $Z_{PE} = 0.5\Omega$  代入式 (3.4-13), 得下降百分数为

$$\frac{4}{4 + 0.5} \times 100\% = 89\%$$

TT 系统内总等电位联结降低预期接触电压的效果十分显示, 并已为实测所证实。

4) TT 系统的中性线不应做重复接地。有些地区的供电部门不了解 IEC 标准, 按我国错误的“零线应重复接地”的旧规定要求 TT 系统的用户除设置设备外壳的单独的保护接地外, 还要求将绝缘的中性线做重复接地, 认为这样做可以避免中性线折断后, 负荷侧中性点漂移引起的三相电压不平衡烧坏单相设备事故。这一做法是错误的。TT 系统的中性线如果重复接地, 部分中性线上的负载电流将经大地返回电源而成为杂散电流, 引起种种危害。对线路首端的 RCD 而言, 这部分负载电流将成为剩余电流而使它误动, 如图 3.4-12 中所示的  $I''$ 。所以在 TT 系统中性线重复接地的供电线路上是不能装设 RCD 用以在发生接地故障时切断电源或报警的。而供电线路对接地故障不加防护往往是一些电气事故的起因。在图 3.4-12 中,  $R'_A + R_B$  以若干欧计, 而中性线阻抗  $Z_N$  则以若干毫欧计, 两者的阻抗值相差悬殊, 所以用  $R'_A + R_B$  来代替断裂的中性线来矫正三相电压不平衡, 其矫正作用是有限的, 并不能避免烧坏设备事故, 只是烧坏设备的时间延长一些而已。而在建筑物和地下管道稠密地区为每一用户设置两个电气上互不影响的接地极是十分困难的。最后实现的将是名义上的 TT 系统, 实质上的 TN 系统。这一做法不见效果, 问题却不少。根据国外经验, 防止中性线折断 (我国俗称“断零”) 引起烧设备事故, 切实有效的途径只有采取提高中性线的机械强度, 例如加大中性线截面积, 加强线路的机械保护和提高导线的连接质量等措施。

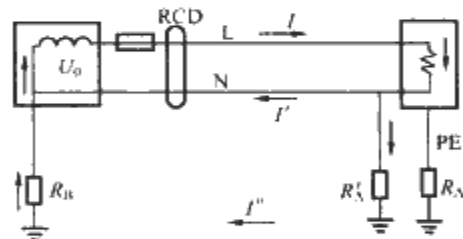


图 3.4-12 TT 系统中性线重复接地引起 RCD 误动

#### (6) IT 系统内自动切断电源的防电击措施

IT 系统的电源侧中性点不接地或经高阻抗接地, 当系统内发生第一次接地故障时, 故障电流没有直接返回电源的通路, 只能通过另外两个非故障相导体对地的电容返回电源。因故障电流很小, 不引发电气危险, 所以不需切断电源, 从而维持供电的不间断。只在发生第二次接地故障时, 才需切断电源。它与前述的 TN 系统和 TT 系统有很大的不同。

1) 切断电源的条件。为保证 IT 系统在发生第一次接地故障时不引发电击事故, 在正常环境条件下 IT 系统发生第一次接地故障时需满足下式要求

$$R_A I_d \leq 50V \quad (3.4-14)$$

式中,  $R_A$  为外露导电部分接地极的接地电阻,  $\Omega$ ;  $I_d$  为发生第一次接地故障时, 相线和外露导电部分间的阻抗可忽略不计的故障电流, 此电流计及正常时的泄漏电流和电气装置全部接地阻抗的影响。

在 IT 系统中需装设一个绝缘监测器来检测发生的第一次接地故障, 根据需要此绝缘监测器可发出声、光信号或切断电源。

通常在绝缘水平大幅下降或在第一次接地故障情况下作用于信号, 并在尽量短的时间内排除故障以维持供电的不间断。如果第一次接地故障未排除又发生第二次接地故障, 则需视具体条件按 TN 系统或 TT 系统的方式来切断电源。

当 IT 系统电气装置的外露导电部分为单独地或成组地用各自的接地极接地时, 若发生第二次接地故障, 故障电流流经两个接地极返回电源, 如图 3.4-13 所示, 其防电击要求和 TT 系统相同, 需满足式 (3.4-10) 的要求。

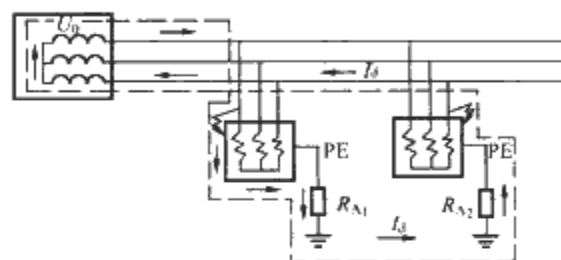


图 3.4-13 IT 系统内的不同外露导电部分用各自的接地极接地

当 IT 系统电气装置的所有外露导电部分都经一个共用的接地系统用共同的接地极接地时, 如果发生第二次接地故障, 故障电流经 PE 线金属通路返回电源如图 3.4-14 所示, 其故障电流通路全为金属导体, 其防电击要求和 TN 系统相同, 需满足下列要求。

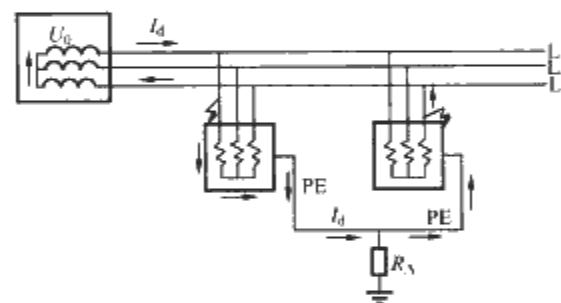


图 3.4-14 IT 系统内所有外露导电部分用共同的接地极接地

不配出中性线时

$$Z_s I_a \leq \frac{\sqrt{3}}{2} U_0$$

配出中性线时

$$Z'_s I_a \leq U_0 / 2$$

式中,  $U_0$  为相线和中性线间的标称交流方均根值电压, V;  $Z_s$  为包括相线和 PE 线在内的故障回路阻抗,  $\Omega$ ;  $Z'_s$  为包括相线、中性线和 PE 线在内的故障回路阻抗,  $\Omega$ ;  $I_a$  为防护电器切断故障回路的动作电流, A, 当线路标称电压为 220/380V 时, 如不配出中性线为 0.4s 内切断电源的动作电流, 如配出中性线为 0.8s 内切断电源的动作电流。

IT 系统和 TN、TT 系统的主要不同点是后者借及时切断电源来防电击, 而前者因电源端带电导体不接地或经高阻抗接地, 故障回路阻抗极大, 故障电流极小, 发生电击的危险很小, 所以不必及时切断电源措施来防电击, 从而维持供电的不间断, 只有在发生第二次接地故障时才要求切断电源。

IT 系统第一次接地故障的故障回路阻抗主要为非故障相回路导体与地间的容抗  $X_C$  和外露导电部分保护接地的接地电阻  $R_A$ , 如图 3.4-15 所示。但  $X_C \gg R_A$ , 所以故障电流

$I_d$  主要取决于非故障相导体对地电容的容抗  $X_C$ 。从图 3.4-15 不难看出 IT 系统第一次接地故障的故障电流为单相交流回路

$$I_d = 2\pi fUC$$

三相交流回路

$$I_d = 2\sqrt{3}\pi fUC$$

式中,  $C$  为非故障带电导体对地电容,  $F$ ;  $U$  单相时为回路标称电压, 三相时为相间标称电压,  $V$ ;  $f$  为系统标称频率,  $Hz$ 。

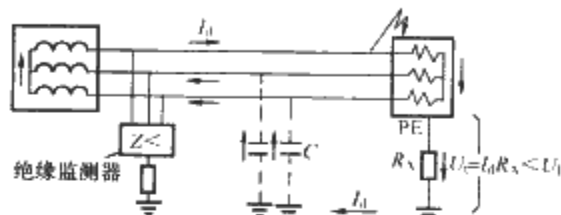


图 3.4-15 IT 系统第一次接地故障时故障电流走向

为了降低或衰减可能出现的过电压或谐振, 有时需将电源端带电导体经一高阻抗  $Z$  接地, 如图 3.4-16 所示。这时故障电流  $I_d$  有一经此阻抗  $Z$  返回电源的通路。因  $Z \gg R_A + R_B$ , 故障电流  $I_d$  的幅值取决于阻抗  $Z$ 。  $Z$  值的确定需能防止过电压或谐振的发生, 同时还应满足式 3.4-14 的要求。尚需注意  $Z$  值不宜过小, 以避免第一次故障排除前, 过大的长时间持续流通的故障电流  $I_d$  引起 PE 线和接地极  $R_A$ 、 $R_B$  的过热。一般情况下  $Z$  值约取为电气装置标称相电压的 5 倍, 例如装置标称相电压为 220V 时,  $Z$  值可取为 1000Ω。

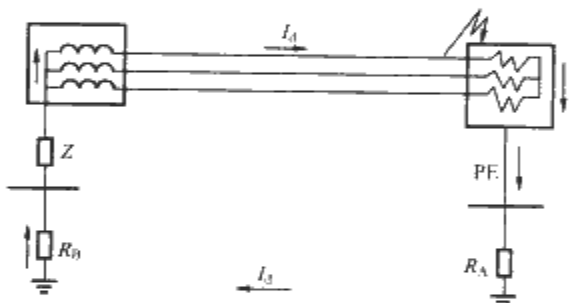


图 3.4-16 IT 系统经阻抗  $Z$  接地

2) 电击防护电器的采用。在 IT 系统内采用下列电击防护电器:

① 绝缘监测器。它装设在回路相线与地 ( $R_A$ ) 之间, 如图 3.4-15 所示, 用以监测第一次接地故障, 当电气装置的绝缘水平降至整定值以下时, 它即动作于发出信号。

② 过电流防护电器。用以发生第二次接地故障时, 按 TN 系统切断电源。

③ RCD。用以发生第二次接地故障时, 按 TT 或 TN 系统切断电源。

绝缘监测器一般是用一个直流电源来监测电气装置的绝缘水平, 其动作原理可用图 3.4-17 作简要说明。图 3.4-17 为一单相绝缘监测器, 它自 IT 系统电源回路取得 220V 输入电压, 其接地端子则接至与 IT 系统外露导电部分连接的 PE 线上。从图 3.4-17 可知, 它经一个降压变压器降压至一很低的电压, 例如降为 12V, 然后经一个桥式整流器输出一直流电压。从图 3.4-17 中虚线所示, 此直流输出回路中串接有检测绝缘水平的电阻  $R$ , 还有 IT 系统外露导电部分的接地电阻  $R_A$ , 以及电气装置内线路和设备的对地绝缘电阻  $R_1$  和  $R_2$ 。正常时  $R_1$  和  $R_2$  的阻值以若干兆欧计, 此直流电流  $I$  和它在  $R$  上产生的电压降  $I \cdot R$  都极小。如果此 IT 系统内绝缘下降或损坏,  $R_1$  或  $R_2$  的阻值大幅度下降 (例如降至 50kΩ 以下), 则此直流电流剧增。当它在检测电阻  $R$  上产生的电压降超过整定值时绝缘监测器即动作。

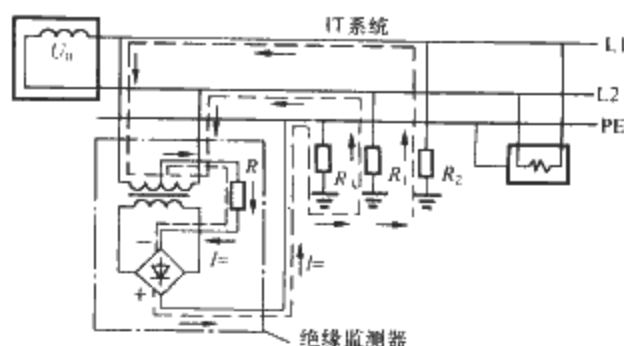


图 3.4-17 绝缘监测器的动作原理简图

从图 3.4-17 也可知这种绝缘监测器只能用来监测 IT 系统的绝缘, 不能用来监测 TN 系统和 TT 系统的绝缘。因为这两种系统的电源中性点是直接接地的, 这样图 3.4-17 中的  $R_1$  和  $R_2$  就被系统接地的几欧的小接地电阻短路, 无法反映装置的绝缘水平。

3) 中性线的配出。IEC 标准强烈建议三相 IT 系统只配出三根相线而不配出中性线。这是因为配出中性线后, 如果中性线绝缘损坏接地, 绝缘监测器对此故障不能作出反应, 如果变电所和用电设备不在同一个建筑物内, 如图 3.4-18 所示, IT 系统实际上成了 TT 系统, 因绝缘监测器未作反应, 电气管理人员对此并不知晓。如果再发生第二次接地故障, 则将按 TT 系统的方式切断电源, 这将失去 IT 系统供电不间断性高的优点。如果变电所和用电设备在同一建筑物内, IT 系统将成为 TN 系统, 其后果相同。

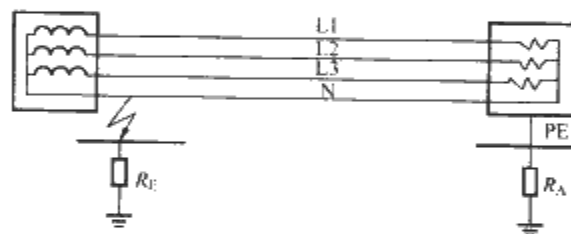


图 3.4-18 中性线接地后 IT 系统转变成 TT 系统

IT 系统不配出中性线, 系统内没有单相 220V 电源, 为此不得不装设若干 380/220V 降压变压器来供给照明回路、控制回路等电源设备, 以替代中性线的配出。这自然将带来系统的复杂化、投资的增加以及管理麻烦等问题。

4) IT 系统的应用。IT 系统除不宜配出中性线, 需装用绝缘监测器等问题外, 还存在其他一些问题。例如 IT 系统一相接地后, 另两相对地电压将升高为线电压 380V, 这时直接接触的接触电压也高达 380V, 电击致死危险自然增大。又如在 TN 系统和 TT 系统内因中性点接地, 可采用额定电压为 300/500V 的四芯或五芯电缆, 而 IT 系统则对绝缘要求的提高需采用额定电压为 450/750V 的四芯或五芯电缆。同理电气设备的绝缘有时也需适当提高以策安全。这些自然都将增加建设投资。

尽管 IT 系统存在这些缺点, 但它仍应用在不少类型的电气装置中, 这是因为它具有供电不间断可靠性高这一其他接地系统不可替代的优点。造成供电中断的电气短路绝大部分是接地故障, IT 系统在发生第一次接地故障时不必切断电源, 这使它在一些对供电不间断要求高的电气装置中得到广泛的应用。IT 系统第一次接地故障的故障电流非常小, 可将接触电压限制到极低值, 故在防电击要求很高的诸如手术室之类的场所也得到广泛的应用。IT 系统在我国除矿井等少数场所外, 其他电气装置和场所应用的还不多。但在发达国家, 为了保证电气安全, 他们不惜增加投资, 也不嫌管理麻烦, 在许多电气装置中采用了 IT 系统, 例如: 某些医



疗场所、重要集会场所、矿井、玻璃厂、供电不间断要求高的电炉和试验设备、冶金厂、发电厂的厂用电、化工厂、爆炸危险场所、计算机中心、应急电源（例如高层建筑中的消防用柴油发电机电源）、重要的控制回路等。

随着我国安全文化水平的提高和电气人员对 IT 系统认识的深入，IT 系统必将在我国得到更多的应用。

### 1.2.3 不用自动切断电源和连接 PE 线接地的防间接接触电击措施

自动切断电源和连接 PE 线接地是最广泛应用的防间接接触电击措施，但它不是唯一的措施，还有下述其他措施可供选用。

#### (1) 采用 II 类设备

如本章 1.2.1 所述，II 类设备具有双重绝缘或加强绝缘，这类设备的使用不考虑它因绝缘损坏而引起事故，因此它不需接地，也不需装用防护电器来切断电源。需注意的是其作为第二重绝缘的外护物若不用钥匙或工具就可开启时，则其内的带电部分需用绝缘的遮栏加以隔开，以防人体无意的触及。此遮栏的防固体物进入的防护等级应不低于 IP2X，即能防范人的手指或直径大于或等于 12.5mm 固体异物进入。另外，还需注意不允许有可导电的物体穿过绝缘外护物进入设备内部，以防设备内部的危险电位传导至设备外部。IEC 标准还规定 II 类设备不能使用与内部带电部分有接触的绝缘螺栓。因为一旦该螺栓被金属螺栓替换，则内部危险电位将沿金属螺栓传导至设备外部而酿成事故。只有在一开始时就采用金属螺栓并另采取有效的绝缘措施才能防止这类事故的发生。

#### (2) 设置绝缘场所

对绝缘场所的绝缘要求在本章 1.2.1 已述及。在此场所内裸露的可导电部分的布置应使人体不可能同时接触可能带不同电位的下列两个部分：

- 1) 两个外露导电部分。
- 2) 一外露导电部分和一装置外导电部分。

在此场所内还不允许出现 PE 线，以免地电位沿 PE 线导入该场所内而出现不同电位。

由于实施中的具体困难，除出于特殊要求外，这一防间接接触电击措施很少被采用。

#### (3) 采用电气分隔

采用电气分隔即装用隔离变压器供电可防范前文所述的从电源侧 PE 线传导来的故障电压引起的电击事故，利用隔离变压器还可防范本回路接地故障引起的间接接触电击。图 3.4-19 所示为一用隔离变压器 T 供电的分隔电气回路。如前所述，分隔电气回路内的带电导体和设备外壳是不接地的，这样当回路发生如图 3.4-19 所示的接地故障时，故障电流  $I_d$  没有返回电源的通路，只能通过另一无故障导体对地电容的极大的容抗返回电源。所以故障电流  $I_d$  和其所产生的预期接触电压  $U_i$  都很小，不足以引起电击事故。

电气分隔有很好的防间接接触电击效果，常被用于电击危险大的特殊场所。例如浴室内以隔离变压器给 220V 剃须刀供电即是常见的一例。采用隔离变压器供电作防电击措施时，应注意所供回路的总长度应加以限制，如果因所供回路的总长度过长，上述故障时的电容电流也随之增大，可能达到危险值，就 220V 单相或 220/380V 三相电缆或穿管导线而言，回路总长度不宜超过 500m，回路电压与回路长度的乘积也不宜超过 100 000。

在电气分隔的应用中，最好采用一台隔离变压器供一台设备的方式，也可采用一台多个二次绕组的隔离变压器，每

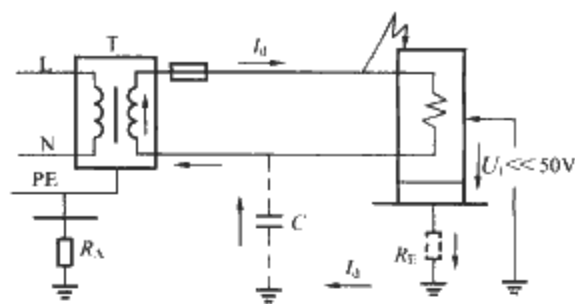


图 3.4-19 隔离变压器供电可防所供回路内的间接接触电击

个二次绕组各供一台设备的方式。但由于种种原因，有时也不得不采用一个隔离变压器绕组供多台设备的方式。应注意采用后一种方式时，各台设备的金属外壳应用与二次回路导线等截面的绝缘导线互相连接，以实现不接地的等电位联结，如图 3.4-20 所示的点划线。如果不作此联结，当如图 3.4-20 所示两台设备都发生图示碰外壳接地故障时，由于设备与地有自然接触，图中故障电流  $I_d$  将以两台设备与地面的接触电阻及地面电阻之和  $R_{E1}$  及  $R_{E2}$  为通路返回电源，其值很小不能使回路的过电流防护电器（见图 3.4-20 中的熔断器）动作。这时 220V 电压将在  $R_{E1}$  及  $R_{E2}$  上按阻值分配， $R_{E1}$  及  $R_{E2}$  上的电压降即为人体的预期接触电压  $U_{i1}$  及  $U_{i2}$ ，它将超过接触电压限值  $U_L$  而导致电击事故。如果人体同时触及这两台设备，则接触电压高达 220V，将更危险。如按图 3.4-20 所示点划线，在设备金属外壳间设置不接地的等电位联结线，则故障电流将不是以  $R_{E1} + R_{E2}$  为返回电源的通路，而是以此联结线作为返回电源的通路。此金属性通路使故障电流剧增，从而使回路的过电流防护电器瞬时切断电源，防止了电击事故的发生。这时即使人体同时触及两台设备，由于两设备外壳电位相同也不会发生电击事故。需注意这一联结线必须为绝缘导线，以防它与其他带电位的导体或带故障电压的一次侧 PE 线接触，而使隔离变压器所供设备外壳带危险电压。这一不接地的等电位联结在电气装置的设计安装中往往被忽略，应加注意。

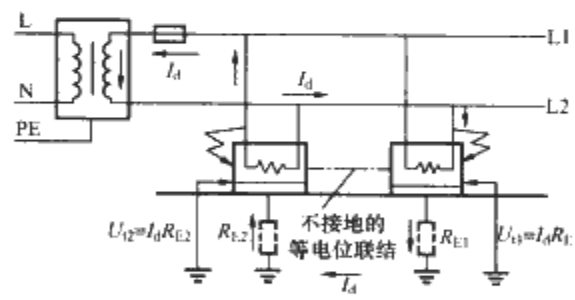


图 3.4-20 隔离变压器一、二次绕组供电给多台设备时需作不接地的等电位联结

隔离变压器供电时二次回路的导体不接地，但它并非 IT 系统。IT 系统所供电的电气装置内的外露导电部分，需通过与 PE 线的连接而作保护接地，其回路中需装设绝缘监测器，以便在发生第一次接地故障时发出报警信号，IT 系统的主要作用是在不发生电气事故的前提下尽量避免供电的中断。而隔离变压器只能作为有限设备的电源，其二次回路内的外露导电部分可与大地接触但不得连接 PE 线作保护接地，也不需装设绝缘监测器，它的主要作用在防电击而不在保证供电的不间断。这两者有很大的不同，不能误认为用隔离变压器供电或电气分隔就是采用了 IT 系统。

#### (4) 采用特低电压供电

工频 50V 及以下的电压，IEC 称之为特低电压（Extra-

Low Voltage, 简称 ELV), 它能有效地防直接接触电击和间接接触电击。按 IEC 标准特低电压设备的额定电压用于干燥场所者为 48V (我国仍沿用 36V), 用于潮湿场所者为 24V, 用于水下者为 12V 及 6V。为防危险电压由降压变压器的一次绕组因绝缘损坏窜入二次绕组, 这种特低电压回路必须由上述加强绝缘的隔离变压器降压供电。为了安全, 在特低电压回路中其回路导体不接地, 所供设备外壳可与地接触, 但不得连接 PE 线而接地, 如图 3.4-21 所示。这种特低电压回路在任一接地故障情况下, 都不会发生电击事故, 因此它不需要补充其他的防护措施。这种不接地的特低电压回路, IEC 称之为 SELV 回路。由于国际上对 SELV 回路的定义未取得一致的意见, SELV 回路没有正式的定义和名称, 一些发达国家将其第一个字母“S”理解为 self-sufficient (自满足), 即不需补充其他措施, 借这种特低电压回路自身的特性就能满足安全要求的意思, 也可理解为 safety (安全) 的笼统的概念。

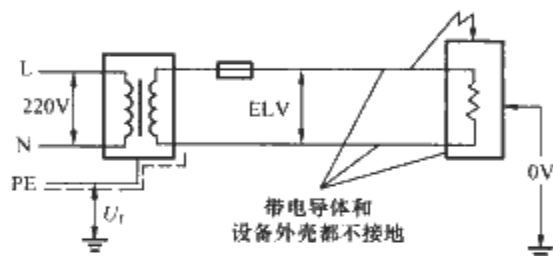


图 3.4-21 SELV 回路在任一接地故障情况下仍确保人身安全

过去我国有一错误的观念, 即回路导体只要实现接地或“接零”即可获得地电位, 就能满足安全要求了。受此错误观念的影响, 我国有些不与 IEC 标准接轨的规范内就规定所谓安全电压网络 (即上述特低电压网络) 中的导线应接地或“接零”, 这是与 IEC 标准对 SELV 回路的规定矛盾的, 因此是不能保证安全的。因为隔离变压器一次侧的 PE 线在故障情况下是可能带危险故障电压  $U_f$  的, 如果将特低电压回路接地或“接零”, 则如图 3.4-22 所示, 特低电压设备外壳将对地电压  $U_f$ , 此电压往往超过 50V 而引起电击事故。一些工矿企业内正是因为这种错误的安全措施一再发生所谓“安全电压电死人”的事故。在电气设计中如采用特低电压回路, 应尽可能按上述 IEC 标准依照 SELV 回路的安装要求来进行设计, 以保证电气安全。

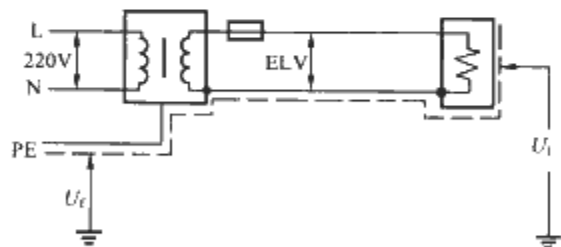


图 3.4-22 特低电压回路接地或“接零”后易导致电击危险

SELV 回路适用于电气上特殊危险的场所, 例如进入半埋地的金属罐体内进行维修时, 所用的手提照明灯即应采用 SELV 回路供电, 因这种罐体内属带地电位的狭窄导电场所, 电击危险很大。

虽然 50V 以下接触电压不致引起人身室纤颤致死的危险, 但 IEC 为确保安全, 仍规定 SELV 回路电压在 25V 以上时, 仍需包以绝缘或设置遮栏 (或外护物) 来防范直接接触电击。

有时特低电压回路的带电导体因种种原因不得不接地,

这种接地的特低电压回路, IEC 称之为保护特低电压 (Protective Extra-Low Voltage, 简称 PELV) 回路。这种特低电压回路须补充等电位联结之类的措施来防电击, 所以除特殊情况外, 通常都采用 SELV 回路供电而不采用 PELV 回路供电。

## 2 热效应防护

电气装置中的电气设备和线路在正常运作中或发生故障时总要产生热量而使温度上升, 它将引起程度不同的热效应。如果电气装置设计安装不当, 过度的热效应将引起诸如电气火灾、人体灼伤、设备过热等不良后果。对这种有害的热效应的防范 IEC 称之为热效应防护, 并制定有专门的防护标准。

### 2.1 电气火灾防护

电气装置应按照 IEC 60364 标准 (我国等同或等效转化的国家标准为 GB 16895 系列标准) 和电气产品说明书的要求进行设计和安装, 使其工作和故障时产生的高温和电弧、电火花不致引燃近旁可燃物起火, 为此需注意满足如下一些要求。

#### (1) 易产生高温的电气设备

这类电气设备在某些运作情况下易产生高温, 为此在安装时应采取如下措施:

- 1) 将该设备安装在耐高温的难燃物体上或难燃的外护物内, 例如将易产生高温的气体放电灯镇流器安装在难燃物体上。
- 2) 将该设备和可燃物间用耐高温的材料进行隔热屏蔽。
- 3) 改善该设备的通风冷却条件, 降低该设备的表面温度, 例如对天花板内集中安装的上述气体放电灯镇流器采取自然的或人工的通风措施。

#### (2) 工作时产生电弧电火花的电气设备

1) 将该设备安装在耐电弧高温的外护物内, 例如将在泄放雷电流时能喷出电火花的电涌防护器安装在能承受高温的箱体内部。

2) 在该设备和建筑物易燃构件间设置隔弧屏蔽。

3) 将该设备安装在离建筑物易燃构件适当距离的位置处。

#### (3) 工作时能发生热聚焦或热集中的设备

该设备应离建筑物易燃构件适当距离, 使其热效应不致使构件温度升高到危险值。

#### (4) 含有超过 25L 可燃液体的电气设备

当电气设备内大量可燃液体因维护管理不当起火燃烧时, 着火的可燃液体或所产生的烟雾在建筑物内溢流或扩散, 将引起电气火灾或人身伤害等事故。为防此种灾害, 需在设备底下设置收集着火的可燃液体的坑池, 并通过一鹅卵石层吸收热量来灭火。也可将该设备安装在不可燃的小室内, 并设置挡油槛防止着火的可燃液体流向他处。

在电气装置设计中应注意当这类设备在可燃液体着火开始时, 就应立即切断该设备的电源。

#### (5) 消防疏散对电气装置的要求

在发生火灾时, 如果人员能迅速疏散逃逸, 伤亡人数可大大减少。在电气装置设计安装中, 应避免由于电气的原因妨碍人员的疏散。IEC 按建筑物内人员疏散的难易, 将建筑进行了如下分类:

- BD1: 人员密度小, 易于逃逸, 例如不高的住宅楼。
- BD2: 人员密度小, 但难以逃逸, 例如高层建筑物。
- BD3: 人员密度大, 但易于逃逸, 例如剧院、商场。

BD4: 人员密度大, 难以逃逸, 例如高层的宾馆、医院。

为在发生火灾时电气装置不妨碍人员的安全疏散, 电气装置应满足下列要求:

1) 在 BD2、BD3 和 BD4 建筑物的消防疏散通道内应尽量不敷设电气线路。如果敷设, 则线路的护套或套管应具有在 2h 内不助燃或延燃的性能, 其表面温度也不致高到足以引燃近旁可燃物。

2) 在 BD3 和 BD4 建筑物内, 用于消防疏散的开关箱和控制箱可不用钥匙或工具来开启, 以便非电气专业人员能在发生火灾时启用。在消防疏散通道内, 其箱壳应用不燃或难燃材料制成。

#### (6) 火势蔓延的防范

在电气装置内除需防因电气的原因起火外, 还需注意一旦发生火灾, 应防止火势沿电气线路或其通道蔓延。例如应根据不同敷设条件选用合适类型的阻燃电线电缆。电气线路的套管、槽盒以及线路的穿墙孔洞等应加以封堵, 如线路套管内径大于 30mm, 其两个端口都需用阻燃材料加以封堵, 以避免氧气不断进入套管内, 助长线路绝缘材料的燃烧。

现时高层建筑内多设置电缆竖井来敷设垂直的配电干线。当发生火灾时这种竖井的烟囱效应将加剧火势, 并使火势在楼层间蔓延。为此应在电缆竖井的适当间距处加以封堵, 以消除此烟囱效应。

#### (7) 火灾危险场所的电气防火要求的提高

IEC 标准将生产、加工、贮存可燃物和多粉尘的场所归为火灾危险大的 BE2 场所。例如牲畜饲养场以及木材加工厂、造纸厂内的某些场所。这类场所对防电气火灾有更高的要求, 摘要如下:

1) 除须装用的电气设备外, 不得装用不必要的电气设备, 以减少电气火灾的发生。

2) 注意防止粉尘在电气设备外壳上的集聚, 以免粉尘影响电气设备的冷却降温, 引发电气火灾。

3) 电气设备的选用和安装应注意其正常工作时的温升和故障时的高温不足以引燃近旁可燃物起火。

4) 在 BE2 场所内的保护、控制和隔离用开关电器应安装在防护等级不低于 IP4X (即能防止直径大于 1mm 的异物进入内部) 的箱壳内, 否则应将这等开关电器安装在 BE2 场所之外。

5) 电气线路如果不是埋设于地下或其他不燃物质内, 则应确保该线路不会延燃而蔓延火势。

6) 与 BE2 场所用电无关的穿过 BE2 场所的电气线路不仅需满足上述不蔓延火势的要求, 还要求不得在 BE2 场所的线段内作导线接头。如果必须作接头, 则该导线接头须安置在耐火的接头盒内。

7) 如果 BE2 场所为多可燃粉尘的场所, 且采用热风采暖。热风入口必须位于 BE2 场所之外, 而热风出口的热风温度应不能高至在 BE2 场所内引燃可燃粉尘。

8) BE2 场所内的无人监视和自控或遥控电动机应配置过热防护器件。

9) BE2 场所内不得装用裸灯泡, 而应装用具有坚实的塑料或玻璃制作的遮盖或网格的灯具, 以防炽热玻璃泡坠落引燃起火。

10) 为防接地故障电弧在 BE2 场所内烤燃起火, 应在电源进线处装设剩余电流动作保护器 (RCD) 以切断电源, 也可装设在绝缘下降或损坏时报警的剩余电流监测器 (Residual Current Monitor, 简称 RCM), 其额定动作电流

$I_{\Delta n}$  都不得大于 300mA。

11) 在 BE2 场所内的配电线路内不应含有 PEN 线, 以防止 PEN 线上的对地电位打火引发火灾。

## 2.2 人体灼伤防护

电气设备的人体伸臂可触及的部分的温度不应使人体蒙受灼伤, 为此这些部分的温度应不超过表 3.4-4 的最高温度值。电气装置的设计安装也应防止电气装置正常运作时有可能超过表 3.4-4 所列最高温度的部分与人体的无意接触, 以防人体灼伤。

表 3.4-4 电气设备正常工作时伸臂范围内易触及部分的温度限值

易触及部分	易触及表面的材料	最高温度 (°C)
操作手柄	金属	55
	非金属	65
易触及, 但非操作手柄	金属	70
	非金属	80
正常工作时不需触及的部分	金属	80
	非金属	90

如果表列最高温度值与电气设备产品标准规定的最高温度值不符时, 以产品标准的规定值为准。

## 2.3 过热防护

在建筑物中常用电能来加热, 常用的有电加热的热风采暖或热水、蒸汽采暖以及其他生产用热等。为防范加热系统的过热, IEC 规定了一些防范措施。下面以采暖系统的电加热为例来介绍这些防范措施的要点。

对于电加热的热风采暖系统, 要求在气流未建立前电加热元件不得通电; 在气流停止前电加热元件必须先断电, 以免发生过热烧坏加热设备甚至引起火灾。电加热系统必须具有两个互不关联的限热器件, 以确保过热防护的可靠动作。

对于热水采暖或蒸汽采暖的电加热系统, 除设备自带的温度控制器外, 电气装置中还应另设不能自动复位的控制器件, 以可靠防止电加热系统的过热。

如热水采暖系统中不具有自溢排水口, 则在电气装置中还需设置限制水压的器件以限制热水流量。

## 3 过电流防护

### 3.1 过电流及过电流防护电器

大于额定载流量的回路电流都是过电流。在回路绝缘损坏前的过电流称作过载; 绝缘损坏后的过电流称作短路。回路因所接电气负载过多或所供设备过载 (例如所接电动机的机械负载过大) 等原因而过载。其电流值不过是回路载流量的很少几倍, 后果则是工作温度超过规定值, 使绝缘加速劣化, 寿命缩短, 但它并不立即导致灾害。当回路绝缘因各种原因 (包括过载) 损坏, 电位不相等的导体经阻抗可忽略不计的熔焊的故障点而导通, 则称之为金属性短路。其电流可达载流量的几百倍以至几千倍, 可产生异常高温和巨大的机械应力导致种种灾害。为此除特殊情况外, 回路内都应装设熔断器、断路器之类的过电流防护电器来防范电气过载和短路引起的灾害。

防护电器的时间—电流特性应与被保护回路导线热承受能力特性相配合, 如图 3.4-23 所示。过载防护应为反时限



特性,以与被保护回路绝缘的热承受能力的反时限特性相适应。当过载电流的幅值过大和持续时间过长影响回路的绝缘性能时,它应在规定时间内动作,以防绝缘劣化导致短路的发生。短路防护应在回路内出现短路电流时尽快动作,防止发生电气事故,例如防止短路电流产生的异常高温或电弧、电火花烤燃可燃物质引起火灾,或防止短路电流产生的机械效应导致灾害等。

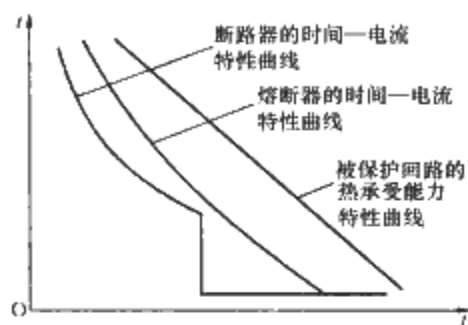


图 3.4-23 过电流防护电器与被保护回路的特性配合

配电回路首端过电流防护电器所保护的主要对象是电气线路,并不要求它对所供设备也必须起过电流防护作用。

断路器和熔断器都是防过电流危害的电器,它们中有的类型适用于电气专业人员管理和使用,有的类型适用于非电气专业人员也即一般老百姓管理和使用。选用时应加以区别和正确选用。

从图 3.4-23 可见熔断器的反时限的时间—电流特性曲线更接近被保护回路的热承受能力特性曲线,说明它具有较好的过电流防护效果,但它的使用不如断路器方便。断路器如因过电流脱扣,排除故障后即可合闸供电,十分方便。而熔断器则必须更换相同规格的熔断体,为此需置备多种规格的备件,给使用者带来不少麻烦。熔断器的接线也需注意,例如螺旋式熔断器的中心接线端子必须接电源侧,螺口端子必须接负荷侧,否则在更换熔体时容易引起电击事故。

由于这些原因我国电气设计人员一般采用断路器作过电流防护。这对于小功率的末端回路,特别是一般老百姓住宅楼电气线路内是无可非议的。但现时在我国设计中在一些有电气专业人员(BA4类和BA5类人员,见附录C)管理的工厂企业、办公大楼等配电系统内基本上都采用了断路器,很少采用熔断器,而在一些发达国家这两种电器的采用约各占一半。应该说这一差异说明我国在这两种电器的选用上存在一些偏差。

大家知道干线上大遮断容量的断路器的售价是很高昂的,而额定电流小于30A的熔断器切断高达50kA的短路电流却是轻而易举的事,且更换一个熔断器的花费也是很有限的。另外,断路器切断大短路电流后需对其触头进行维护,其遮断容量可能有所降低;而熔断器更换新的备件后其遮断容量则依旧不变。就这点而论,用熔断器切断短路更为安全。

还有,在动作时间大于0.1s的条件下,符合产品标准(即约定不熔断电流 $I_{nr}$ 为 $1.25I_n$ ,约定熔断电流 $I_t$ 为 $1.6I_n$ )的各级熔断器的电流级差为1.6倍时,产品标准规定各级熔断器能保证过载防护动作的选择性,而断路器却难以做到这点。换言之,用作过载防护时熔断器有较优的级间选择性,它可减少过载防护动作时的停电面。

因此在有电气专业人员管理维护的场所,至少在干线上应根据具体情况在设计中适当扩大熔断器的应用范围,使配电系统的设计更臻经济合理。

需要说明,必须采用符合产品标准的刀形触头型、螺栓连接型、圆筒帽型、螺旋型熔断器,不能采用早已淘汰的RTO熔断器以及没有产品标准的瓷插式熔断器、胶盖开关熔断器之类的熔体。这种熔体没有规定的工作特性,若将这种熔体装用在线路上是无法保证线路安全工作的。它们与设备端子的连接往往因接触面过小,接触压力不够而使接触电阻过大产生高温,在通过正常负载电流时即自行熔断,导致不应有的供电中断。

### 3.2 中性线的过电流防护

视配电回路不同的负载情况,中性线截面积可能小于相线截面积,也可能等于或大于相线截面,这使中性线的过电流防护复杂化。它涉及回路中性线上是否需要装设过电流检测器件以及是否需要装设开关触头的问题。

按产品标准,对于能同时断开相线和中性线的四极开关电器要求切断回路时三个相线开关触头应先于中性线开关触头断开,而接通回路时中性线开关触头则先于三个相线开关触头接通。这是为了避免开关开合过程中性线短时间的中断(俗称“断零”),所以四极开关的中性线触头是在没有电流的情况下开合的。因此在切断负载回路时相线触头能拉出电弧而中性线触头则否。开关触头上的接触电阻是由膜电阻和收缩电阻组成的。膜电阻是由触头表面的一层氧化物、化学腐蚀物、尘埃等组成的一层电阻膜的电阻,它阻碍电流的通过。当相线触头断开时,它拉出的负载电流电弧虽然不大,并不烧损触头,但能烧掉和清除触头表面的电阻膜,从而减少相线的接触电阻。而中性线触头断开时不产生电弧,因此四极开关电器中性线这一极的接触电阻总是比较大,严重时它可导致“断零”故障(即中性线不导通的故障),当三相负载不平衡时可引起三相电压不平衡而烧坏大量单相用电设备。因此IEC标准在有关中性线过电流防护的条文中,总是规定在满足过电流防护要求的前提下,尽量避免在中性线上设置不必要的开关触头来切断中性线,这些规定如下文所述:

1) 在无三次及其奇数倍谐波电流情况下当中性线截面等于相线截面时不必在中性线上装设开关触头和双金属片或电磁脱扣器等过电流检测器件。相线上的过电流防护既能保护相线,也必定能保护中性线,所以不必在中性线上装设任何过电流防护器件,也即可采用三极断路器。

2) 在有三次或其奇数倍谐波电流情况下,当中性线截面大于或小于相线截面时,需在中性线上装设过电流检测元件,以检测中性线的过电流,但不必装设中性线的开关触头。只需在中性线上装设过电流检测器件以反应中性线的过电流,它只需作用于三个相线触头的断开。因断开三根相线后中性线上的电流自然消失,没有必要装设这个不必要的触头,增大“断零”事故发生概率。

### 3.3 过载防护

过载防护电器是用以保护电气回路免受过载危害的电器。电气回路内的绝缘、线路接头、设备接线端子等如因回路过载而温度升高,防护电器应及时切断电源或给出信号,以免这些线路组成部分因持续高温而性能劣化,这是IEC标准对过载防护规定的作用。回路的过载只是使上述部分受到损害,并未立即引起灾害。但如果过载状态长时间延续,会使上述部分严重受损,最后可能引发短路之类的危险状况而导致灾害的发生。

接地故障虽不是本章所论的过载,但它产生的接地故障

电流有时也大于导体载流量成为与过载电流相同的过电流，这时过载防护电器对它也能起到防接地故障的作用。例如本章 1.2.2 中图 3.4-8 所示的相线接大地故障，如果故障回路阻抗较小，故障电流较大而使回路首端的过载防护电器动作。这时过载防护电器即兼起防接地故障的作用。

3.3.1 过载防护应满足的条件

为使过载防护电器能保护回路免于过载而使回路性能劣化，防护电器与被保护回路在一些参数上应互相配合，它们应满足下列条件：

- 1) 防护电器的额定电流或整定电流  $I_n$  不小于回路的计算负载电流  $I_B$ 。
- 2) 防护电器的额定电流或整定电流  $I_n$  不大于回路的允许持续载流量  $I_z$  (以下简称载流量)。
- 3) 防护电器有效动作的电流  $I_2$  不大于回路载流量的 1.45 倍。

以上条件以公式表示即为

$$I_B \leq I_n \leq I_z \tag{3.4-15}$$

和 
$$I_2 \leq 1.45 I_z \tag{3.4-16}$$

式中， $I_B$  为回路的计算负载电流，A； $I_n$  为熔断器的额定电流或断路器的额定电流或整定电流，A； $I_z$  为回路导体的载流量，A； $I_2$  为保证防护电器有效动作的电流（即熔断电流或脱扣电流），A。

、如图 3.4-24 所示为以图形表示的式 (3.4-15) 和式 (3.4-16) 中过载防护电器与被保护回路导体的特性配合。

如图 3.4-24 所示  $I_1$  为不大的过载电流时，在一个约定时间内过载防护电器保证不动作（即熔断器不熔断、断路器不脱扣）的负载电流； $I_2$  为过载时在一个约定时间内保证过载防护电器能动作的约定电流。

当负载电流达到  $I_n$  时，不论时间多长，过载防护电器是不动作的，因为  $I_n$  并非动作电流，它只是可长期通过防护电器而不会使电器的特性变劣的电流。当负载电流大于回路载流量  $I_z$  不多、时间不长时防护电器也是不动作的，因为回路允许短时间少量的过载。一般电气回路的负载电流不是恒定不变而是周期性地变化的。短时间少量的过载不会对回路产生不良影响，在电气装置设计中允许回路短时少量过载可减小回路截面节约有色金属，取得经济上的效益，但应注意这只是对一般周期性变化负载而言的。

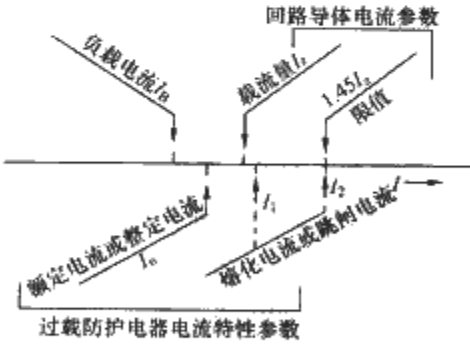


图 3.4-24 过载防护电器与被保护回路导体的特性配合

对于常常发生长时间持续过载的回路，情况不是这样的。因回路不允许长时间持续地过载，即使是少量的过载也不允许，以避免加速劣化回路组成部分的性能。所以 IEC 标准规定式 (3.4-16) 不适用于经常发生长时间持续少量过载的回路，对于此种回路导体截面积应酌量放大。

在作过载防护的电器产品标准中规定，为验证某一防护电器对某一回路导体过载防护的有效性，将该导体的两端接于过载防护电器两出线端子上，先将测试电流调到约定不熔

断电流（或约定不脱扣电流） $I_1$ ，经约定时间  $T$  后将测试电流增加到约定熔断电流（或约定脱扣电流） $I_2$ ，防护电器如在此约定时间  $T$  内动作，且  $I_2 \leq 1.45 I_z$ ，则此过载防护是有效的，即导体绝缘等部分并未因此短时过载而劣化。在工程设计中根据产品标准和制造商提供的数据即可用式 (3.4-15) 和式 (3.4-16) 来验证过载防护的有效性。

对于断路器而言， $I_2$  为其约定时间内的脱扣电流；对于快速动作的 g I 型熔断器而言， $I_2$  为约定时间内的熔断电流；对于延时动作的 g II 型熔断器而言，此  $I_2$  需乘以 0.9 的系数。这是因为 g I 型和 g II 型熔断器在制造厂中的试验条件是不相同的，后者试验时冷却条件较好，所以在现场使用中需乘以 0.9 的系数（见表 3.4-5、表 3.4-6）。

表 3.4-5 配电用熔断器熔体的约定时间和约定电流

熔体额定电流 $I_n$ (A)	约定时间 $T$ (h)	约定电流 (A)	
		不熔断电流	熔断电流
<16	1	见注	见注
$\geq 16 \sim 63$	1	1.25 $I_n$	1.6 $I_n$
>63 ~ 160	2		
>160 ~ 400	3		
>400	4		

注 按熔断器分标准规定。

表 3.4-6 配电用断路器过电流脱扣器各级同时通电时的反时限断开动作特性

整定电流倍数		约定时间 $T$ (h)
约定不脱扣电流	约定脱扣电流	
1.05	1.30	2 ( $I_n > 63A$ ) 1 ( $I_n \leq 63A$ )

3.3.2 并联导体的过载防护

现时常遇到这样的情况，为走线方便从自备柴油发电机或变压器引到开关柜的线路需采用多根单芯电缆或电线并连接电，这时要求电流尽量平均分配在并联的单芯导体间，以避免有些导体欠载有些导体过载的情况发生。为此要求这些导体的阻抗相等，这时并联导体应满足下列条件：

- 1) 并联导体的材质、长度和截面相同。
- 2) 电缆、电线的结构相同。
- 3) 布线的方式相同。
- 4) 导体全长没有分支线引出。

做到阻抗相等并非易事，因为导体布置的位置难以做到十分对称，其电感就有较大差别，从而使导体阻抗出现差别，常因此引起导体间负载电流严重的分配不均。例如一相的两并联导体，其阻抗分别为 6mΩ 和 3mΩ，则后者分配的负载电流就为前者的两倍而过载。因此除非是很大电流的回路应尽量少采用并联导体的回路，而应采用并联的多芯回路，如图 3.4-25 所示。如果因技术上的困难不得不在同一相上采用并联的单芯导体时，应在施工时尽量使导体布置对称，并在投入使用时用钳形电流表测一下各并联导体的电流。如果发现电流严重不平衡时，应采取措施调整其感抗，例如变动一下导体的位置，使各导体电流接近均衡。

3.3.3 谐波电流引起的回路过载及其防护

当电气装置中存在大量谐波电流时，变压器、电动机等设备会因之发热而降低出率，电气回路导体也会过载发热，过电流防护电器也频繁跳闸，甚至引起电气火灾和其他事故。电气装置中的谐波可源于公用电网，也可源于电气装置

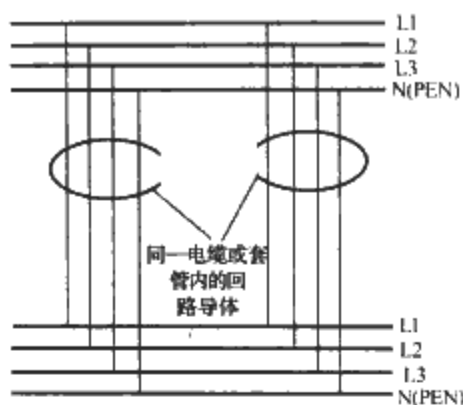


图 3.4-25 并联的多芯回路

内部的非线性用电设备。一个电气装置内产生的谐波不但危害自身，而且也可因“污染”公用电网而危害其他用户的电气装置。这里只就谐波引起的电气回路内过载的问题做一探讨。

#### (1) 线性负载和非线性负载

就谐波的产生而论，电气负载有线性负载和非线性负载之分。如对一个电气负载施加一个正弦波波形的电压，其负载电流的波形仍为一个正弦波波形，其相互关系负载线为一条直线，如图 3.4-26 所示，则此负载被称为线性负载，例如白炽灯、电阻炉、未磁饱和的电动机之类的负载。

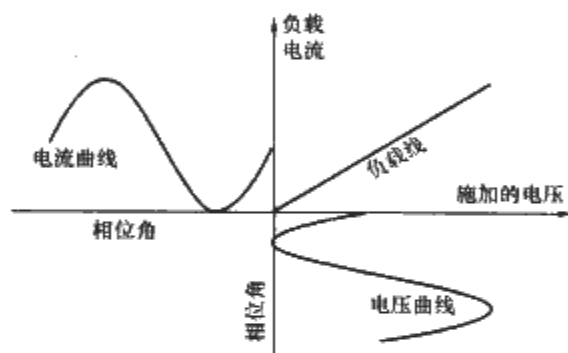


图 3.4-26 线性负载的负载线

如对一个电气负载施加一个正弦波波形的电压，其负载电流波形因带多次谐波成分而畸变，它不再为一个正弦波波形，其负载线也不是一条直线，如图 3.4-27 所示，此负载称之为非线性负载。例如开关模式电源、气体放电灯、变频调速设备之类的负载。

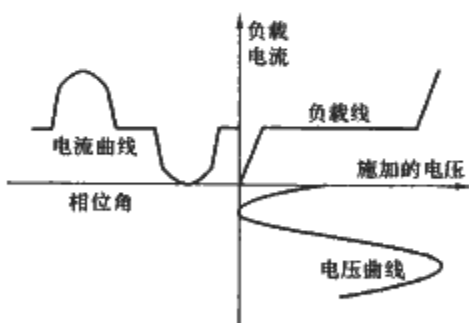


图 3.4-27 非线性负载的负载线

#### (2) 非线性负载、电源线路阻抗和谐波的关系

如图 3.4-28 所示为通常的电气装置配电系统。该装置内有线性负载和非线性负载。电源线路的阻抗以图 3.4-28 所示的两个阻抗  $Z$  来代表，它包括电气装置内的阻抗和公用电网的阻抗。假设电源电压波形为正弦波，此正弦波电压施加到非线性负载上时，其电流波形不为正弦波而发生谐波畸变如图 3.4-28 所示。当此畸变波形的电流流过电源线路阻抗  $Z$  时，阻抗  $Z$  上将产生含有畸变波形的电压降，这使其后负载端的电压波形也发生畸变。此畸变波形的电源电压

施加到线性负载上时，线性负载的电流波形也和电压波形一样畸变。这样，电气装置内的电流和电压波形都发生畸变而带各次的谐波，其发生的根源则是装置内存在的大量非线性负载。

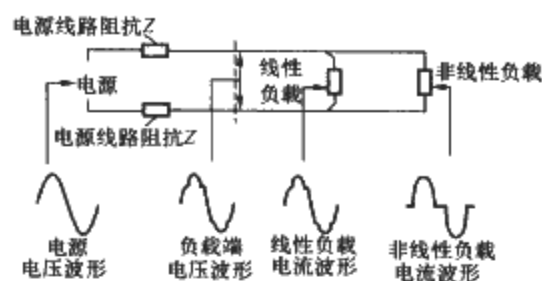


图 3.4-28 电气装置内的非线性负载产生谐波电流和谐波电压

不能因为非线性负载产生谐波而不使用这类负载，所以电气装置内的谐波产生源是难以避免的，可装用滤波器予以消除。但有的滤波器效果不够理想，有的滤波器投资过大，在电气装置内应尽量减少谐波的产生。对于一般建筑物电气装置，简单措施之一是减少电源线路的阻抗，因为它可不必要花费大量投资，但能在一定程度上降低谐波电压降，从而减少电源中的谐波电压含量。采用电缆和穿管的绝缘导线配电可以减少电感，适当加大导线截面则可减少电阻，从而减少回路中的谐波含量（这样做同时也是为了提高电压质量，降低电能损耗和降低线路工作温度，延长线路使用寿命的需要）。我国电气装置选取的导线截面因不与 IEC 标准接轨而往往偏小而不够安全，在电气设计中适当注意这一问题，对减少电气装置的谐波含量也是有好处的。

#### (3) 谐波电流导致的相线和中性线的过载

如果电气回路中除 50Hz 的基波负载电流外，还附加有其他过大含量的高次谐波电流，则回路会因此而过载，使过电流防护电器频繁跳闸，但测得的电流却往往未超过其整定值或额定值。这是因为一般电磁式电流表是按电流的平均值偏转，而过电流防护电器热脱扣元件则按电流的有效值动作。当电流波形为正弦波时，平均值和有效值有一个固定的比值，电流表能按此比值正确反映有效值电流。当电流内存在谐波电流时，此比值已非上述正弦波电流的两者的固定比值，其值随波形变化而变化，一般电流表的偏转角偏小而不能正确地表征含谐波成分的有效值电流。为此需采用能按热效应来测定有效值电流的电流表来进行测定。这种表计被称为真实方均根值表计。

危险在于不了解电气安全的人在遇到上述情况时，常误认为是断路器、熔断器的额定电流太小而更换电流大许多的断路器、熔断器，而不更换大截面的回路导体。这当然是很不安全的，因为其后果是回路过载而过电流防护电器却不动作，最终将因回路长期过载而导致短路和各种电气灾害的发生。

谐波电流能引起相线过载，但最常见的导体过载是三相四线回路中的中性线过载。过去非线性负载少，人们不重视谐波过载的危害，认为三相四线回路内的中性线只通过三相不平衡电流，其值很小，中性线截面只取为相线截面的  $1/2$  甚至  $1/3$ 。但现时在谐波电流特别是三次和其奇数倍谐波电流大增的电气回路中，例如在主要采用气体放电灯作照明光源的商场、办公楼等场所的照明回路中，这一做法将造成中性线的严重过载。图 3.4-29 所示为一三相四线回路各带电导体的基波（50Hz）和三次谐波（150Hz）的电流波形。假设三相电流相等，因基波相位角差  $120^\circ$ ，它在中性线上的相



量和为零。但由图 3.4-29 可知,三次谐波电流在中性线内的相位角并不差  $120^\circ$ ,而是处于同一相位上,它在中性线上的电流不是互相抵消而是互相叠加,其他 9、15、21 次等三次谐波的奇数倍谐波电流也是如此(图 3.4-29 中未表示)。

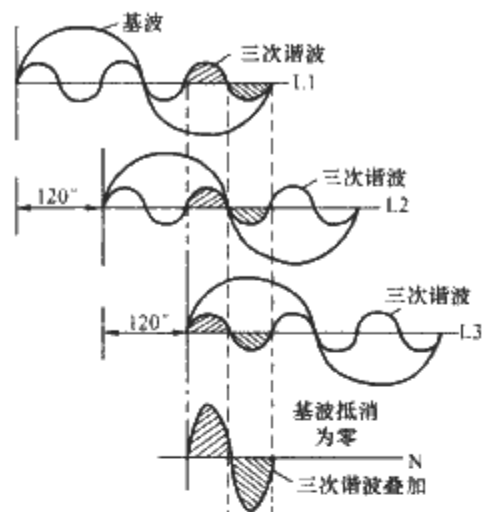


图 3.4-29 三次及其奇数倍谐波电流使中性线过载

由于三次的三次谐波电流及其奇数倍谐波电流在中性线上的叠加,中性线电流不再为零而常与相线电流接近甚至超过相线电流。如果在电气设计中对三次及其奇数倍谐波电流含量大的回路仍将中性线截面取为相线截面的  $1/2$ ,甚至  $1/3$ ,则中性线的过载将不可避免,为此我国电气设计规范已规定有放大中性线截面的要求。目前在我国电气消防安全检查中,中性线严重过载使绝缘劣化变色的隐患现象屡见不鲜,由此引起的电气短路火灾事故也屡有所闻,对此不能因循过去的老概念对谐波电流引起的回路过载掉以轻心。

#### (4) 防谐波电流过载的导体截面的选择

我国已颁布等同采用 IEC 标准的载流量国家标准 (GB/T 16895.15—2002)。该标准中的载流量值一般较我国资料中的载流量小,能保证安全。对防谐波电流的过载也有较具体的规定,下面将做一简介。

在 IEC 标准中,三相四线回路采用多芯电缆或穿管导线时,不论回路带电导体数为三根或四根,其载流量都按三相负载平衡三根带载相线的发热来标定。即使三相电流不平衡,中性线上带电流时也是如此。这是因为它将电缆或穿管导线视作一个综合发热体来考虑,三相电流不平衡时,中性线增加的发热可由电流较小的相线的欠发热来抵消,回路总发热量没有变化的缘故。

在三相电流平衡但有三次谐波电流的情况下,并未有相线欠发热,反因谐波电流的存在而增加发热,中性线则因谐波电流的叠加而发热更剧,为此当谐波电流含量超过一定百分数时,需考虑一载流量降低系数来增大回路截面,其值见表 3.4-7。

表 3.4-7 电缆或穿管导线三相回路存在谐波电流时的降低系数

相线内三次谐波 电流含量 (%)	降低系数	
	按相线电流选择 导体截面积	按中性线电流选择 导体截面积
0~15	1.0	—
15~33	0.86	—
33~45	—	0.86
>45	—	1.0

当三相四线回路导线在空气中间隔地明敷时,其热量可以自由逸散而互不影响,即可不按综合发热体而是按每根导线的实际电流(包括谐波电流)分别确定其截面积,不需考

虑降低系数。

下面试举两例来说明穿管暗敷导线和明敷导线在回路内有三次谐波电流时的截面积选择。导线都为铜芯 PVC 绝缘、工作温度为  $70^\circ\text{C}$ 、环境温度为  $30^\circ\text{C}$ ,穿管导线为在非热绝缘墙内暗敷,明敷导线则用绝缘子在墙面上水平敷设。按 IEC 标准这两种敷设方式的载流量见表 3.4-8。

表 3.4-8 IEC 标准中部分穿管暗敷导线和明敷导线的三相回路载流量

截面积 ( $\text{mm}^2$ )	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35
穿管暗敷载流量 (A)	15.5	21	28	36	50	68	89	110
墙面明敷载流量 (A)	—	—	—	—	—	—	130	162
截面积 ( $\text{mm}^2$ )	50	70	95	120	150	185	240	300
穿管暗敷载流量 (A)	134	171	207	239	—	—	—	—
墙面明敷载流量 (A)	197	254	311	362	419	480	569	659

需再次说明,表 3.4-8 中穿管三相回路的载流量,不论导线数为三根、四根还是五根,也不论中性线有无电流,都是只按三相负载平衡,三根相线通过相同电流而发热来确定回路的负载电流  $I_B$ ,它视整个回路为一综合发热整体。

【例 3.4-1】 一三相四线回路在一般非热绝缘墙内穿管暗敷,三相电流基本平衡,负载电流为 60A,试确定三次谐波电流含量为 20%、40%和 60%时的导线截面。

解 1) 当谐波电流含量为 20%时,相线电流  $I_L$  为

$$I_L = \sqrt{60^2 + (60 \times 0.2)^2} \text{ A} = 61.2 \text{ A}$$

中性线电流为

$$I_N = 60 \times 0.2 \times 3 \text{ A} = 36 \text{ A}$$

查表 3.4-7,应按原相线电流取 0.86 的降低系数,得设计负载电流  $I$  为

$$I = 61.2 / 0.86 \text{ A} = 71.2 \text{ A}$$

查表 3.4-8,选用  $4 \times 25 \text{ mm}^2$  的导线。

2) 当谐波电流为 40%时,相线电流  $I_L$  为

$$I_L = \sqrt{60^2 + (60 \times 0.4)^2} \text{ A} = 64.6 \text{ A}$$

中性线电流为

$$I_N = 60 \times 0.4 \times 3 \text{ A} = 72 \text{ A}$$

查表 3.4-7,应按中性线电流取 0.86 的降低系数,得设计负载电流  $I$  为

$$72 / 0.86 \text{ A} = 83.7 \text{ A}$$

查表 3.4-8,选用  $4 \times 25 \text{ mm}^2$  的导线。

3) 当谐波电流为 60%时,相线电流  $I_L$  为

$$I_L = \sqrt{60^2 + (60 \times 0.6)^2} \text{ A} = 70 \text{ A}$$

中性线电流为

$$I_N = 60 \times 0.6 \times 3 \text{ A} = 108 \text{ A}$$

查表 3.4-7,应按中性线电流取 1 的降低系数,得设计负载电流  $I$  为

$$I = 108 \text{ A}$$

查表 3.4-8,选用  $4 \times 35 \text{ mm}^2$  的导线。

【例 3.4-2】 同例 3.4-1,但负载电流为 275A,敷设方式为将导线在墙面上用绝缘子水平敷设。

按 IEC 载流量标准,当线路与其邻近的其他物体表面的空隙大于多芯电缆外径的 0.3 倍,或大于单芯电缆(导线)外径的 1 倍时,就可将电缆(导线)的载流量取为在导体发热量可不受阻碍地逸散的自由空气中敷设时的载流量,此载流量即表 3.4-8 中墙面上明敷的载流量。这样就可分别按导线通过的电流选取截面积,不必视回路为综合的发热整体在电流计算中计入降低系数来选取截面。

解 1) 当谐波电流为 20%时,相线电流为

$$I_L = \sqrt{275^2 + (275 \times 0.2)^2} \text{ A} = 280 \text{ A}$$

中性线电流为

$$I_N = 275 \times 0.2 \times 3 \text{ A} = 165 \text{ A}$$

查表 3.4-8, 确定截面积为  $3 \times 95 \text{ mm}^2 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ 。

2) 当谐波电流为 40% 时, 相线电流为

$$I_L = \sqrt{275^2 + (275 \times 0.4)^2} \text{ A} = 296 \text{ A}$$

中性线电流为

$$I_N = 275 \times 0.4 \times 3 \text{ A} = 330 \text{ A}$$

查表 3.4-8, 确定截面积为  $3 \times 95 \text{ mm}^2 + 1 \times 120 \text{ mm}^2$ 。

3) 当谐波电流为 60% 时, 相线电流为

$$I_L = \sqrt{275^2 + (275 \times 0.6)^2} \text{ A} = 320 \text{ A}$$

中性线电流为

$$I_N = 275 \times 0.6 \times 3 \text{ A} = 495 \text{ A}$$

查表 3.4-8, 确定截面积为  $3 \times 120 \text{ mm}^2 + 1 \times 240 \text{ mm}^2$ 。

从以上两例可知, 当回路中有过大三次谐波电流时, 不仅中性线截面需要放大, 相线截面有时也需放大。还需说明, 如果回路中还存在三次谐波的奇数倍电流, 其含量超过 10%, 或存在三相不平衡的 50Hz 电流, 其不平衡度大于 50%, 则还需视情况酌量增大导体截面。

### 3.3.4 过载防护电器的安装位置

过载防护电器应安装在回路的供电端和回路导体的截面、材料、敷设方式等有变化的回路分支处, 因为这些变化能引起回路载流量的变化。如图 3.4-30 所示的防护电器 F2 即是因这种变化而装设的过载防护电器。分支点 T 离地面很高, 这给检视、更换、维护 F2 带来不便。为此允许 F2 可离开分支点 T 一适当距离, 以便靠近地面, 这时 T—F2 线段上不应再引出分支线路增加负载和接用易招致过载的插座。设计安装中还应注意满足下列条件之一:

1) T—F2 线段如发生短路, 其最近的上级过电流防护电器 F1 应能有效切断电源。

2) T—F2 线段不大于 3m, 此线段的敷设应采取措施尽量减少发生短路的可能, 且线段邻近不存在可燃物质。

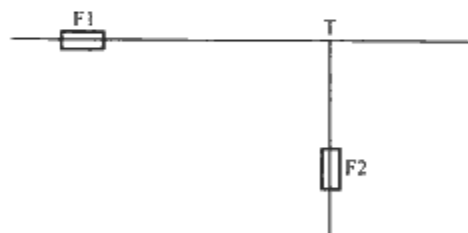


图 3.4-30 过载防护电器的安装位置

### 3.3.5 过载防护电器的免装

除火灾或爆炸危险场所外, 一般场所内有些回路是可以视情况只装设短路防护电器而不装设过载防护电器的, 例如:

1) 分支回路的截面、材料、敷设方式虽然变化, 但上一级防护电器仍能有效防范其过载。

2) 回路所接设备不可能发生过载, 它也没有引出分支回路来增加负载或接用易导致过载的插座。

3) 回路电源的容量很小, 内阻抗很大, 不可能输出导致回路过载的电流。

有些用电设备是不可能导致回路过载的, 例如烧水用的电热水器。又如电动机负载, 如果电动机的堵转电流小于回路的载流量, 则此回路也不可能过载。有的电气设备本身附有热继电器之类的过载防护器件, 则也不需考虑其供电回路

的过载。

某些电源设备因其容量很小受其内部阻抗的限制, 即使所供回路发生短路也不可能输出大于回路载流量的电流而引起回路过载, 例如某些电铃变压器、电焊变压器等电源设备。

上述都是从技术上考虑没有必要安装过载防护电器的一些情况。除此以外 IEC 还从安全着眼, 建议在诸如下列回路上为避免供电突然中断而引起事故和损失, 不宜装设过载防护电器:

- 1) 旋转电机的励磁回路。
- 2) 吊运铁件的电磁铁的供电回路。
- 3) 电流互感器的二次回路。

这样规定的理由是线路过载时及时切断电源虽然避免了回路的过载, 但突然断电可能造成的损失却非所保护的线路的价值可比拟。依此类推, 诸如高层建筑的消防用电等重要应急电源回路也不应安装过载防护。因为正当高层建筑内扑灭火势和人员疏散的紧要时刻, 却为了保护回路免于过载而中断消防水泵、疏散照明等的应急电源, 因此引起重大人身伤亡和财产损失事故, 这样做显然是因小失大、得不偿失的。

## 3.4 短路防护

如前文所叙, 电气回路的短路是绝缘损坏后的过电流, 它能直接引起各种电气危险和灾害。短路防护的主要目的是在短路电流对回路导体和其连接点发生危险的热效应及机械效应导致灾害前切断回路的短路电流。下面就短路防护的几个问题作介绍。需要说明, 短路有短路点阻抗可忽略不计的大短路电流的金属性短路, 也有短路点阻抗大的短路电流不大的电弧性短路, 本章讨论的内容仅限于前者。

### 3.4.1 短路防护应满足的条件

为避免电气短路引起灾害, 短路防护应满足下列条件:

1) 短路防护电器的遮断容量应不小于它安装位置处的预期短路电流, 但在下述情况下可以装用较小遮断容量的防护电器。

此较小遮断容量的防护电器前的上级防护电器具有足够的遮断容量来切断该预期短路电流, 且这两级防护电器的特性适当配合, 即当用上级防护电器切断该短路电流时, 下级防护电器和它所保护的回路应能承受通过的短路电流而不致损坏。例如在遮断路器上级装用有足够遮断容量的动作特性配合的熔断器。

2) 被保护回路内任一点发生短路时, 防护电器都能在被保护回路的导体温度上升到允许限值前的时间内切断电源。此时间可依下式计算

$$t < (KS/I)^2 \quad (3.4-17)$$

式中,  $t$  为短路电流通过的时间, s;  $S$  为导体的截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $I$  为短路电流有效值 (方均根值), A;  $K$  为计算系数, 它决定于导体和绝缘的材质以及导体通过短路电流时的起始温度和最终温度。

不同绝缘材料和线芯的  $K$  值见表 3.4-9。

表 3.4-9 不同绝缘材料和线芯的  $K$  值

绝缘材料 线芯	聚氯乙烯	丁基橡胶	乙丙橡胶	交联聚乙烯
铜芯	115	131	143	143
铝芯	76	87	94	93

需注意式(3.4-17)只适用于  $0.1\text{s} \leq t \leq 5\text{s}$  的情况,这是因为短路产生的热量在  $5\text{s}$  内尚不及逸散,超过  $5\text{s}$  后热量开始逸散,式(3.4-17)不再适用。而当  $t < 0.1\text{s}$  时,短路电流中大幅值的非周期电流分量的发热将起显著作用的缘故。当  $t < 0.1\text{s}$  时,导体的  $K^2 S^2$  应大于短路电流的非周期分量  $I^2 t$  值,即

$$K^2 S^2 > I^2 t \quad (3.4-18)$$

此  $I^2 t$  值应由防护电器制造商提供。

当采用  $63\text{A}$  及以下的熔断器来保护截面不小于  $1.5\text{mm}^2$  的铜芯电缆或绝缘电线时,式(3.4-18)的要求总是能满足的。

### 3.4.2 干线短路防护电器能保护的分支回路的长度范围

我国电气人员对线路的过电流防护比较重视和熟悉,对此本章不拟多叙。上文提到的分支回路截面减小,干线短路防护电器能保护的分支回路的长度范围国外有一简单的图解法,如图 3.4-31 所示,可供参考。

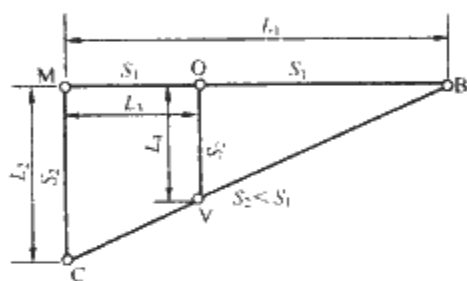


图 3.4-31 当分支回路截面减小时  
干线短路防护电器的保护范围

图 3.4-31 中短路防护电器安装在  $M$  点,它能保护的干线当截面为  $S_1$  时,能保护的最大长度为  $L_1$ 。对于较小的截面为  $S_2$  的回路,它能保护的最大长度为  $L_2$ ,现用此截面的线路作为分支回路,画一个直角三角形,如图 3.4-31 所示。其长直角边  $MB$  代表上述干线,其短直角边  $MC$  则代表上述可保护的最长的分支回路。现需要在离  $M$  点距离为  $L_3$  的  $O$  点引出一分支回路,其截面为  $S_2$ 。引一与  $MC$  平行的直线  $OV$  与斜边  $BC$  相交于  $V$  点。则  $OV$  的长度  $L_4$  即代表自  $O$  点能引出的能被保护的截面为  $S_2$  的分支回路的最大长度。干线上其他处分支引出的截面为  $S_2$  的分支回路能被保护的最大长度都可用此图解法简易地求出。

### 3.4.3 短路防护越级跳闸的防范

在低压电气装置设计中如何保证短路防护中上下级动作的选择性,以避免越级跳闸引起大面积停电事故一直是个老大难问题。即使装用带有短延时动作的三阶段防护的断路器,也不能避免越级跳闸。这是因为当故障回路阻抗小时,下级回路的短路电流很大,超过了上级断路器瞬动防护的整定值,上级瞬动脱扣器越级动作而短延时动作不起作用的缘故。无选择性跳闸会导致停电面扩大,使一些重要负荷突然断电,常因此引起重大事故和巨大损失。为此一些重要设备不得不直接自变电所引专线供电,这自然要增多配电盘及配电回路数。另一个解决办法是取消上级的瞬动脱扣,靠短延时脱扣切断短路电流以保证选择性,但这又将为保证线路热稳定而增大线路截面,所以都不是理想的措施。

短路防护中选择性不得保证的问题近年来已能解决。由于电子信息技术的迅速发展,20 世纪 80 年代国际上推出了智能型断路器,它有许多新功能,使低压配电技术得到很大的进步,其中之一就是级间选择性连锁技术 (Zone Selective Interlocking, 简称 ZSI),它能满意地解决短路防护中级间无选择性瞬动跳闸的问题,其原理可用图 3.4-32 来说明。

图中末端回路上的断路器  $QF4$  仍是具有长延时和瞬动的一般断路器,断路器  $QF3$ 、 $QF2$  和  $QF1$  都是带有长延时、短延时和瞬动以及 ZSI 功能的智能型断路器。采用 ZSI 时要求在智能型断路器间敷设一个与主回路并列敷设的信号回路,如图 3.4-32 中虚线所示。

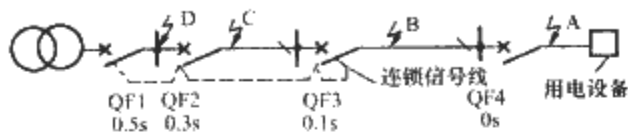


图 3.4-32 级间选择性连锁原理简图

末端回路是最易发生短路的线段。如图 3.4-32 所示,在  $A$  点短路时,  $QF4$  瞬时动作。这时  $QF3$  也检测出短路电流,它通过信号给  $QF2$  和  $QF1$  发出信号(同理,  $QF2$  也给  $QF1$  发出同样信号),使  $QF2$ 、 $QF1$  的瞬动元件被锁住而不动作,同时  $QF3$  也给自己发出信号而将瞬动脱扣自锁,以保证和  $QF4$  间的选择性。它仍保留  $0.1\text{s}$  的短延时动作,以作  $QF4$  的后备防护。当图 3.4-32 中  $B$  点短路时情况相同,  $QF3$  给  $QF1$  和  $QF2$  发出连锁信号,本身的瞬动动作也自锁而保留延时  $0.1\text{s}$  动作。因此点短路电流不大,而延时又甚短,一般不会因热稳定要求而加大导体截面。当  $C$  点短路时,  $QF2$  检测出短路电流,它发出连锁信号,使  $QF1$  不能瞬动而只剩  $0.5\text{s}$  的延时动作,而  $QF2$  本身未自锁,可瞬时动作,从而大大减少大短路电流对回路导体的热效应。当  $D$  点短路时,  $QF1$  并未接到前级断路器发来的连锁信号,它可立即动作,从而有效地保护了导体。

从上述,可知 ZSI 这项新技术的应用可使配电系统设计得更为合理,它保证了短路防护的选择性,但不需增加配电回路数量,也不需为保证热稳定而加大回路截面。由于我国对这项新技术的应用还较陌生,有些重要项目,花大量资金购置了智能型断路器,却未利用其具有的 ZSI 功能,仍按常规只使用其过电流的瞬动、短延时、长延时防护和接地故障防护的四阶段保护。这无异买椟还珠,越级跳闸造成大面积停电引起巨大损失的问题仍未解决,十分可惜。在建筑电气设计中应注意充分发挥智能型断路器包括 ZSI 在内的各种新功能。

### 3.4.4 短路防护电器的免装

并非所有的回路线段上都应或都能装设短路防护电器。在下列回路线段上是不应或不能装设短路防护电器的:

1) 变压器、发电机、蓄电池等电源设备出线口至其配电盘或控制盘的连接线的首端上短路防护电器是无法在其出口处装设的,它只能装设在线路末端的配电盘或控制盘上。

2) 短路防护电器如切断回路电源,其后果将比不切断电源的后果更为严重的回路,例如 3.3.5 内所述的一些不能随便切断电源的回路,应根据具体情况免于装设用于切断电源的短路防护电器,不重述。

3) 某些检测回路,例如电流互感器的二次回路,出于安全的考虑,这类回路是允许短路而不允许开路的。

当回路上不装设短路防护电器时,为避免电气危险,应同时满足下列两个条件:

① 回路的敷设应采取有效措施最大限度地消除发生电气短路的可能。

② 回路的布线位置应尽量远离可燃物。

除上述各节外,短路防护与过载防护既同为过电流防护,在应用上也有相同处。例如:当用一个短路防护电器保护多根并联的单芯电缆或电线时,其要求和 3.3.2 过载防护

的要求相同,即应注意使并联导体的布置对称,阻抗相等,以避免短路电流在各导体间分布不均。又如短路防护电器的安装位置应和3.3.4过载防护电器安装位置一样,安装在回路导体的截面、材料、敷设方式有变化的分支处。

## 4 过电压防护

低压电气装置可能出现各种过电压,例如由于电网和电气装置运行条件的变化引起工频电源电压变化而导致的缓慢而持续的带电导体间的过电压,它被称作电源电压的正偏差,它和电源电压的负偏差都是表征供电电源电能质量的一个重要指标。在现时电气装置设计规范和设计手册中都有具体的规定和论述。

又如在发生雷击时,雷电在低压电气装置中引起的持续时间以微秒计的瞬态对地冲击过电压,其持续时间虽然极短,但幅值和波形陡度却极大,可能引起电气装置中电气设备和电子设备的绝缘击穿,导致设备损坏,信息技术设备受干扰等事故。有时可引发火灾、大面积停电等严重事故。

当电气装置的电网电源,也即10/0.4kV配电变电所内高压侧发生接地故障,引起低压电气装置内持续时间以毫秒计的暂时工频对地过电压。视不同低压接地系统,有的可引起人身电击事故,有的则可引起设备损坏事故。本章内将对这种过电压做叙述。

### 4.1 工频暂时过电压

#### 4.1.1 10kV不接地系统接地故障引起的暂时过电压

由于历史上的原因,我国建国后10kV电网普遍采用不接地系统,即系统负荷端的外露导电部分作保护接地,而电源端带电导体则是不接地的,如图3.4-33所示。当10/0.4kV变电所内发生如图3.4-33所示的10kV侧接地故障时,故障电流 $I_d$ 没有返回电源的通路,它只能通过图3.4-33所示另两非故障相的对地电容返回电源。故障电流 $I_d$ 为此两电容电流的相量和。因线路对地电容,特别是架空线路的对地电容很小,容抗很大,所以 $I_d$ 值很小。按我国电力部门规范要求,此 $I_d$ 值不得大于20A,同时规定图3.4-33所示10/0.4kV变电所的接地电阻 $R_B$ 不大于4Ω。此 $I_d$ 在10/0.4kV变电所的接地电阻 $R_B$ 上将产生故障电压 $U_f$ 。为节约变电所建设投资,低压系统中性点的系统接地也接于 $R_B$ 上,它将使低压系统对地电位升高 $U_f$ 而过电压,PE线对地电位也升高至 $U_f$ 。当 $I_d$ 和 $R_B$ 都为最大值时 $U_f$ 最大值为 $20 \times 4V = 80V$ ,我国规范规定10kV不接地系统内发生上述接地故障时,10kV故障回路电源侧的断路器不必切断电源,只需发出故障信号,以便在尽可能短的时间内排除故障,从而避免因断路器的跳闸而招致的大面积停电。

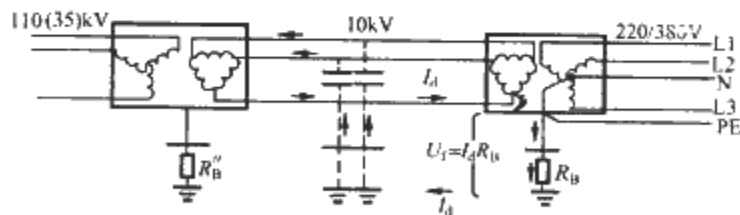


图 3.4-33 10kV 不接地系统内  $I_d$  值和  $U_f$  值均很小

这种10kV系统在发生上述接地故障时,如因各种原因长时间不能排除故障,另两非故障相的对地绝缘将长时间持续承受 $\sqrt{3}$ 倍相电压的过电压,为此需提高10kV系统供电元件(例如线路、变压器、开关柜等)的对地绝缘水平,并加大其空气间隙、爬电距离等,这必然导致设备体积的加大和制造成本的提高,从而增加电网的建设投资。

#### 4.1.2 10kV经小电阻接地系统内接地故障引起的暂时过电压

改革开放后我国城市用电负载急剧增长,如仍以10kV架空线供电,因受送电容量和线路走廊的限制,已远不能满足负荷增长的需要,为此不得不在市区内用大量埋地电缆供电。由于对地电容电流的增大,城市10kV电网内接地故障电流因此大大超过20A的限值。单相接地故障电弧能量的增大使单相接地故障很快转化为相间短路,迫使10kV故障回路电源端断路器切断电源,不接地系统在发生一个接地故障后仍能保证供电不间断的优点已不复存在。既然同样需切断电源,原来提高系统建设成本采用10kV不接地系统已无意义。为此我国也仿效发达国家的做法,将城市里这级电压的配电系统由不接地系统改为经小电阻接地系统,在发生上述接地故障时使故障回路首端断路器切断电源,如图3.4-34所示,以降低电网建设投资。图3.4-34中110(35)/10.5kV变压器二次绕组通常为三角形联结,没有中性点。为实现系统接地需在二次侧安装一接地变压器,其一次侧为有中性点的星形绕组(图3.4-34中未表示接地变压器的二次绕组,它可用作变电所的所用电的电源),这样就可获得系统接地所需的人工中性点。从图3.4-34可知,为限制直接接地的故障电流,从此人工中性点经一小电阻值的电阻器 $R$ 后再接至地下接地极 $R_B$ 接地。这就是所谓经小电阻接地的10kV接地系统。

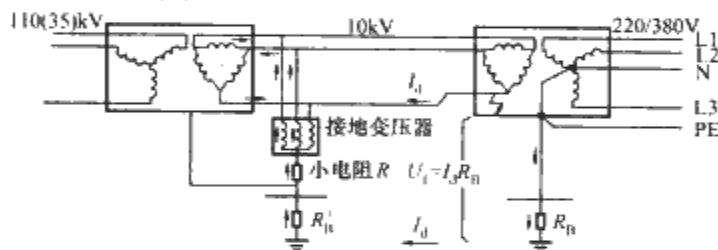


图 3.4-34 10kV 经小电阻接地系统内  $I_d$  值和  $U_f$  值均增大

从图3.4-34可知,采用小电阻接地系统后,在10/0.4kV变电所内高压侧发生接地故障时,接地故障电流 $I_d$ 不再是微小的电容电流,它获得经图3.4-34中 $R_B$ 、 $R'_B$ 和小电阻 $R$ 的返回电源的通路,这样 $I_d$ 值可达数百安以至近千安。在如此大的故障电流情况下为保护10kV线路和设备,电源侧的继电器和断路器应在以若干毫秒计的短时间内迅速切断电源。由于电源中性点接了地,两非故障相的对地电压虽然有所升高,但不会高至相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。又因为电源的迅速切断,故障的持续时间仅若干毫秒,所以对10kV供电元件的绝缘水平、空气间隙、爬电距离的要求可大大降低,这就可在一定程度上减少系统的建设投资。

10/0.4kV变电所既是10kV系统的负荷端,同时也是低压系统的电源端,所以它是10kV系统和低压系统的转换点。变电所接地电阻 $R_B$ 上的电压降 $U_f = I_d R_B$ 由于 $I_d$ 的增大而增大,而低压系统中性点也通过 $R_B$ 而实现其系统接地,由于共用同一个 $R_B$ 接地极,此上千伏的故障电压 $U_f$ 将传导至低压系统引起对地暂时过电压,在低压系统内引发各种电气事故,下文中将对此进行分析讨论。

#### 4.1.3 TN系统内的人身电击危险

如上述,如果10/0.4kV变电所和所供电气装置不在同一个建筑物内,当变电所内高压侧(包括高压开关柜、高压线路、10/0.4kV变压器等)发生接地故障时,如低压侧为TN系统,则如图3.4-35所示,低压侧中性点以及PEN线、PE线对地电位也同时升高 $U_f = I_d R_B$ 值( $R_B$ 应计及并联接地电阻的影响),使所供电气装置的外露导电部分对地电位



电压,如图 3.4-35 中虚线所示。但电气装置不位于户外而位于建筑物内时,由于建筑物内做有 1.2.2 所叙的总等电位联结, TN 系统建筑物内人体可同时触及的导电部分都处于同一  $U_f$  电位水平上,不出现电位差,不论  $U_f$  值有多高,都不致引起人身电击事故。

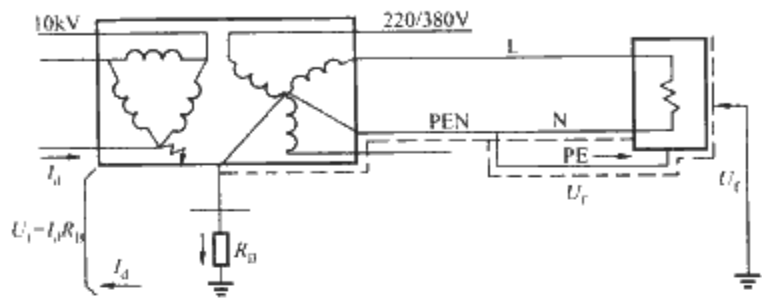


图 3.4-35 10kV 经小电阻接地系统内 TN 系统的电击危险

但当电气装置在建筑物外时,例如户外安装的路灯、广告灯以及其他户外电气装置,其外露导电部分,如路灯的金属杆、户外泛光灯的金属外壳等将带  $U_f$  电压,而人体站立的户外地面却为零伏的地电位。当人手接触这些外露导电部分时,接触电压即为  $U_f$ 。如 10kV 电网为图 3.4-33 所示的不接地系统,由于故障电流  $I_d$  小,产生的  $U_f$  值通常不太大,人身电击危险也不太大。但如 10kV 电网为图 3.4-34 所示的经小电阻接地系统,则人体承受的接触电压高达几百以至上千伏,人身电击致死的危险甚大。问题还在于一旦发生电击事故,事故的原因却很难查清。因变电所 10kV 侧接地故障电流  $I_d$  大,事故发生后 10kV 故障回路的继电保护迅速动作,电击部位不再呈现  $U_f$  电压,这样就无法查明事故是因变电所高压侧接地故障引起,当然也难以总结事故教训,杜绝这类暂时工频对地过电压引起的人身电击事故的再次发生。

当发生上述暂时过电压时,因 TN 系统内包括相线、中性线和 PE 线在内的回路导体以及装置的外露导电部分的电位同时升高,因此除电击事故外,回路内设备和线路的绝缘不会因这种过电压的冲击而受到伤害,也即不会发生绝缘击穿事故。

#### 4.1.4 防范 TN 系统内人身电击事故的措施

采用经小电阻接地的 10kV 系统后,在低压 TN 系统内引发的人身电击事故危险可采取下列措施来防范:

##### (1) 在 10/0.4kV 变电所内分设两个接地极

在 10/0.4kV 变电所内原本有高压系统的保护接地和低压系统的系统接地两个接地,只是因为过去 10kV 电网采用不接地系统,故障电流  $I_d$  不大,才将这两个接地合并为一个共用接地。现在一些大城市内将 10kV 系统改为经小电阻接地后,为避免上述 TN 系统内的人身电击事故,最彻底的解决措施是将这两个接地极仍分开独立设置,在电气上互不影响,如图 3.4-36 所示。图中高压侧的外露导电部分(为实现变电所的等电位联结,低压侧的外露导电部分也与之联结)的保护接地  $R_B$  与低压系统的系统接地  $R'_B$  分开设置。这样  $R_B$  上的故障高电位就无由传导到低压系统内引发电击事故。

在变电所内设置两个独立的接地极并不困难,只需将从变压器 PEN 线套管引出的 PEN 线在变电所内与外露导电部分绝缘,从低压配电盘内与框架绝缘的 PEN 线母排引出一单芯绝缘电缆在户外距保护接地  $R_B$  至少 10m 处另打接地极  $R'_B$ ,这样就实现了 10/0.4kV 变电所电气上互不影响的两个独立的接地。

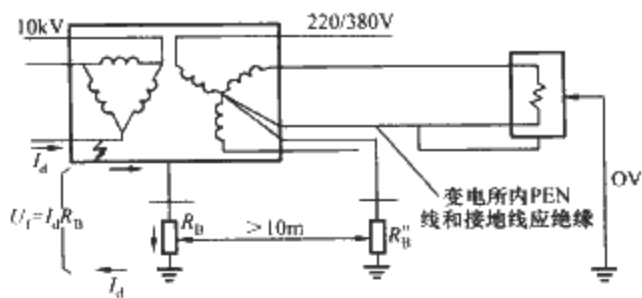


图 3.4-36 变电所分设两个接地极可消除暂时过电压引起的电气事故

##### (2) 在所供 TN 系统建筑物内实施总等电位联结

当变电所和 TN 系统电气装置不在同一个建筑物内时,上述变电所故障过电压  $U_f$  将沿 PEN 线、PE 线传导至用户电气装置外露导电部分上。如果建筑物内实施了总等电位联结,由于等电位的作用,人身电击事故将不致发生,其防护原理可参见本章 1.2.2 的说明及图 3.4-6,不重述。

##### (3) 户外的 TN 系统改为局部 TT 系统

上述 TN 系统的建筑物户外部分因不具备总等电位联结条件,其地面为 0V 的地电位,而电气装置的外露导电部分则带  $U_f$  高电位,为此需将这部分电气装置改为局部 TT 系统,其实施要求见本章 1.2.2 节和图 3.4-7。

#### 4.1.5 TT 系统内的设备绝缘击穿危险

在 TT 系统内,电源端中性线的系统接地和低压电气装置外露导电部分的保护接地各自分别直接接大地,两个接地在电气上没有联系而互不影响。所以变电所高压侧故障产生的故障过电压  $U_f$ ,不会传导到另一建筑物低压电气装置的外露导电部分上而引起电击事故,但却存在电气装置内电气设备和线路的对地绝缘被此故障过电压  $U_f$  击穿的危险。这是因为当变电所内发生高压侧接地故障时,如图 3.4-37 所示,TT 系统内接地的设备外壳和线路之间的对地绝缘将承受  $U_s = U_f + U_0 = U_f + 220V$  的暂时工频过电压。当 10kV 电网为经小电阻接地系统时,过大的  $U_f$  值引起的暂时工频过电压有可能击穿低压电气装置内的对地绝缘,从而引起设备损坏和电气短路火灾,特别是电弧性接地故障火灾。

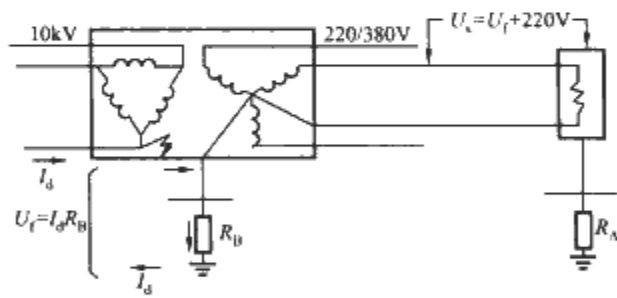


图 3.4-37 10kV 经小电阻接地系统内 TT 系统的绝缘击穿危险

注:图中  $U_s = U_f + 220V$  为相量相加。

#### 4.1.6 防范 TT 系统内绝缘击穿事故的措施

为防这种暂时工频过电压在低压系统内击穿绝缘,有关电气产品标准委员会和电气装置标准委员会协商后,IEC 标准对此种因变电所内高压侧接地故障引起的暂时过电压的允许值和切断电源时间作出了表 3.4-10 所列值的规定。

表 3.4-10 低压电气绝缘允许承受的过电压和切断电源时间

低压电气绝缘允许承受的过电压	切断电源时间 (s)
$U_0 + 250V$	$>5$
$U_0 + 1200V$	$\leq 5$

注  $U_0$  为低压电气装置的相电压,在我国为 220V。

表 3.4-12 所列的过电压值和时间值实际上是产品制造商和电气承包商双方都可接受的妥协值。即在满足表列要求保证绝缘不击穿的前提下,产品制造的成本不致过高,而电气承包商为减少  $I_d$  值和  $R_B$  值的建设投资也不致过大。如果不能满足表 3.4-12 所列值要求,低压 TT 系统内的绝缘就可能有击穿的危险,特别是老建筑物内绝缘老化的电气装置内危险尤大。下面将介绍防止这类电气事故的措施:

#### (1) 在 10/0.4kV 变电所内分设两个接地极

如前所述,变电所内分开设保护接地和低压系统中性点的系统接地后,高压侧的故障过电压  $U_f$  将无由传导到低压系统内,TT 系统内将不可能出现带电导体的对地过电压,自然不会发生击穿对地绝缘的危险。

(2) 变电所内共用一个接地极,但适当降低  $I_d$  和  $R_B$  值,使  $U_f$  值满足表 3.4-12 的要求

如果难以分设两个接地极而仍共用一个接地极,应适当降低  $U_f$  值以降低 TT 系统内绝缘承受的暂时过电压  $U_s = U_f + U_0$ 。从图 3.4-37 和表 3.4-12 可知,  $U_f$  的允许最大值即表 3.4-12 中的 250V 和 1200V。当 10kV 电网为不接地系统时,10kV 系统发生接地故障可暂不切断电源,切断电源时间可大于 5s,  $U_f$  的允许最大值即 250V。但前文已述,我国规范规定,在不接地的 10kV 电网中,  $I_d \leq 20A$ ,  $R_B \leq 4\Omega$ ,  $U_f$  最大值不超过 80V,能满足表 3.4-12 中  $U_f$  小于 250V 的要求。因此在不接地的 10kV 电网中共用一个接地极时,不必担心 TT 系统内发生暂时工频过电压击穿对地绝缘的事故。

但在经小电阻接地的 10kV 电网中,  $I_d$  值为数百以至上千安,而  $R_B$  值如仍取为不大于  $4\Omega$ ,则情况将不是这样。设  $I_d$  为 600A,  $R_B$  为  $4\Omega$ ,则  $U_f$  将为  $I_d R_B = 600 \times 4V = 2400V > 1200V$ ,不能满足表 3.4-12 要求。TT 系统内的绝缘,特别是劣化了的绝缘将被击穿,可能导致起火或设备损坏事故。如前所述,事故的起因是很难查明的。

为避免发生这类事故,10kV 电网设计中应适当限制故障电流  $I_d$ ,也即适当限制 10kV 电网配电电缆的总长度;变电所设计中则应尽量降低图 3.4-37 中变电所共用接地极的接地电阻  $R_B$ ,使其乘积  $I_d R_B$  不大于 1200V。如利用变电所所在建筑物内的总等电位联结的基础钢筋、金属管道、电缆外皮等自然接地体作为接地极,  $R_B$  可不难达到  $1\Omega$  甚至  $0.5\Omega$  以下。但杆上变压器和箱式变电所靠人工接地极达到低接地电阻是较困难的。IEC 曾规定,如  $R_B$  为  $1\Omega$  或变电所所接金属外皮的高低压电缆总长度超过 1km,表 3.4-12 的要求就可满足。这是因为 10kV 小电阻接地系统的接地故障电流通常不大于 1000A,而 1km 长的埋地电缆的金属外皮的自然接地电阻通常小于  $1\Omega$  的缘故。如果供电部门能给出当地 10kV 电网的  $I_d$  值,例如给出  $I_d$  为 600A,则可通过计算得出  $R_B = 1200/I_d = 1200/600\Omega = 2\Omega$ ,此值能满足绝缘配合要求,也较经济。有些地区的供电部门不限制 10kV 小接地电阻系统的接地故障电流  $I_d$  值,强制要求用户 10/0.4kV 变电所的  $R_B$  值为  $0.5\Omega$ ,会给用户电气设计安装增加了不必要的困难和浪费,是缺乏科学根据和不合理的。

#### 4.1.7 变电所与低压电气装置处于同一个建筑物内时不存在暂时过电压引起的电气事故危险

以上所述都是 10/0.4kV 变电所与低压电气装置不处于同一个建筑物内的情况。当变电所与低压电气装置共处同一建筑物内时,情况不如上文所述。首先在此建筑物内通常不采用 TT 系统,因在同一建筑物内,低压系统做到两个电气上互不影响系统接地和保护接地是比较麻烦

的,也是没有必要的。在同一个建筑物也不应采用 TN-C-S 系统。按 IEC 标准 PEN 线应按可能遭受的最高电压加以绝缘,因 PEN 线通过负载电流而产生对地电位差,在一个建筑物内如果 PEN 线因与设备外壳连接而多点接地将引起杂散电流,它可能引起电气火灾,也可腐蚀地下的金属结构和管道,在有信息网络的建筑物内,此杂散电流还易引起干扰。这样在有变电所的建筑物内就只能优先选用 TN-S 系统了。

另外,在同一个建筑物内,除个别特殊情况外,只能采用一个共用的接地装置,以避免不同接地系统间的电位差引发电气事故。这样如图 3.4-38 所示,在此建有变电所的建筑物内,变电所 10kV 侧的保护接地和低压的系统接地及保护接地通过与建筑物总等电位联结的连通而合一,并利用建筑物基础钢筋、金属水管和高、低压电缆金属外皮等的自然接地而共用接地极,它们同处在一个电位水平上。当变电所高压侧发生接地故障时,不论图中接地母排对地电压  $U_f$  升至多高,由于建筑物内总等电位联结的互相连通,全部电气装置的电位都上升到同一个  $U_f$  水平上,建筑物内部并不出现电位差,前述人身电击和绝缘击穿事故在此建筑物内都不可能发生,没有必要如前文所述采取任何防范措施,对变电所接地电阻  $R_B$  的阻值为多少也没有要求。只有当由此建筑物内的变电所供给另一建筑物电气装置时,才需按前面所述的要求采取相应的防过电压危害的措施。

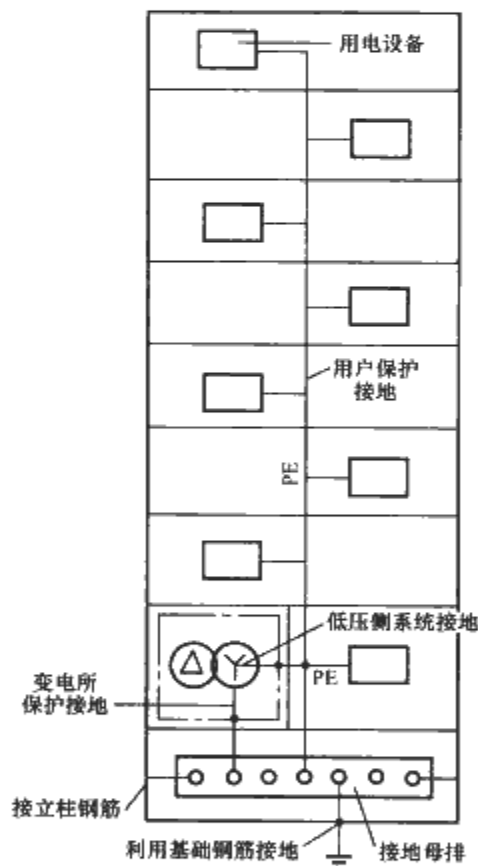


图 3.4-38 变电所与低压用户共处于一个建筑物内时暂时过电压不会引发电气事故

#### 4.1.8 10kV 变电所高压侧接地故障过电压危害防范的简要概括

1) 当 10kV 电网为不接地系统时,变电所高压侧的保护接地和低压侧的系统接地可共用同一个接地装置。其低压系统无需采取措施防范可能出现的幅值不太大的过电压危害。

2) 当 10kV 电网为经小电阻接地系统,且变电所和低压用户不在同一个建筑物内时,最有效地防过电压危害措施是将变电所高压侧的保护接地和低压侧的系统接地分开设置,否则应采取下列措施:



①TN 系统低压用户在建筑物内应实施总等电位联结，其户外部分应采取局部 TT 系统，以防止人身电击事故；

②TT 系统低压用户应注意降低 10kV 系统内的接地故障电流  $I_d$  和变电所接地电阻  $R_B$ ，使  $I_d$  和  $R_B$  的乘积小于 1200V，以防低压电气装置内绝缘击穿事故。

3) 当 10kV 电网为经小电阻接地系统，且变电所和低压用户在同一个建筑物内时，由于具有总等电位联结的作用，该建筑物内不会出现此种工频暂时过电压，无需采取措施防范低压电气装置内这一过电压的危害。

4.2 雷电瞬态过电压

建筑物电气装置内的瞬态过电压主要由大气中的雷电感应产生，也可因大功率设备开关的投切而产生。后者的幅值小，导致的危害不多见，本章不做讨论；前者往往击穿装置内设备和线路的绝缘，造成设备损坏，供电中断，甚至引发火灾，对绝缘薄弱的信息技术设备威胁尤其大。对构成雷电危害的外界影响，IEC 标准按其严重程度分为 AQ1、AQ2 和 AQ3 三级。AQ1 级的严重程度最低，其雷暴天数为每年不大于 25 天，可予忽视而不设防；AQ2 级为远处雷击时地面瞬变电磁场在架空电源线路上感应产生脉冲过电压，此涌压沿电源线进入建筑物电气装置内，可导致绝缘击穿事故，其雷暴天数为每年 25 天以上；AQ3 级为建筑物直接被雷击（例如雷击在建筑物防雷装置接闪器上）或建筑物近处落雷时（例如雷击在建筑物近旁的大树上），强大的瞬变电磁场直接在电气装置内感应产生电磁冲击过电压，这种过电压的幅值和能量都很大，绝缘被击穿的危险也最大。

需要说明，每年雷暴天数超过 25 天的地区为 AQ2 级雷电强度地区。而 25 雷暴日的雷电强度即是相当于每年每平方千米面积内发生 2.24 次的对地雷击，它按 IEC 标准的下式求得

$$N_g = 0.04 T_d^{1.25} \tag{3.4-19}$$

式中， $N_g$  为对地雷击数， $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ； $T_d$  为雷暴天数， $\text{a}$ 。

需要说明，式 (3.4-19) 为 IEC 标准规定的公式，我国防雷规范规定的公式为

$$N_g = 0.024 T_d^{1.3}$$

与 IEC 标准有所不同。

4.2.1 电气设备的额定耐瞬态过电压值及其分级

电气装置内电器设备绝缘被雷电瞬态过电压击坏的危险程度与设备本身耐瞬态过电压水平和所承受的瞬态过电压的幅度等因素有关。为有效地对设备进行保护，需将电气设备在电气装置内安装位置的过电压水平和电气设备耐瞬态过电压水平进行分级和配合，使其额定耐瞬态电压不低于表 3.4-11 所列值。电气设备制造商应使其产品满足表列值的要求。

表 3.4-11 各级电气设备额定耐瞬态过电压值

电气装置的标称电压 (V)		电气设备应具有的耐瞬态过电压值 (kV)			
三相系统	带中点的 单相系统	电气装置进 线处的设备 (Ⅳ级)	配电回路和 末端回路 (Ⅲ级)	用电器具 (Ⅱ级)	需特殊保 护的设备 (Ⅰ级)
—	120~240	4	2.5	1.5	0.8
230/400 277/480	—	6	4	2.5	1.5
400/690	—	8	6	4	2.5
1000	—	由设计电网的工程师确定			

我国低压电气装置的标称电压为 220/380V，可套用 230/400V 这一级电压的耐瞬态过电压值。图 3.4-39 为该级标称电压电气装置内各级耐瞬态过电压设备的示例。

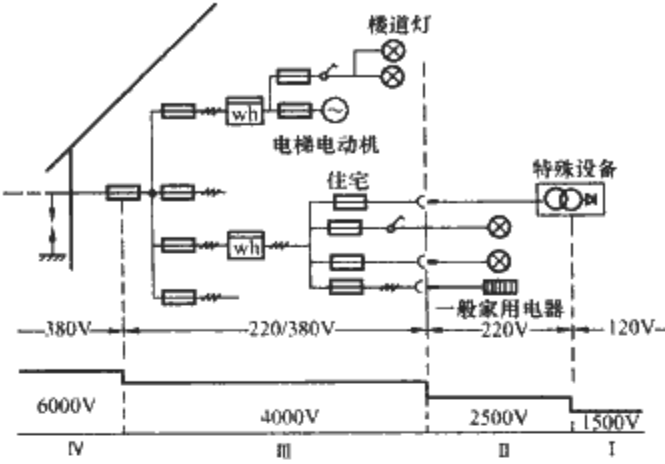


图 3.4-39 各级耐瞬态过电压设备示例

从表 3.4-11 和图 3.4-39 可知，IEC 标准将电气设备按耐瞬态过电压水平划分为 I、II、III、IV 四级，这四级设备可简要说明如下：

I 类耐瞬态过电压电气设备是指从建筑物电气装置内固定安装的电源插座供电的对瞬态过电压敏感的电气设备，例如电脑之类的信息技术设备。

II 类耐瞬态过电压电气设备是指从建筑物电气装置供电的一般用电器具，例如自电源插座供电的台灯、电风扇、电冰箱等家用电器和手持式电动工具之类的电气设备。

III 类耐瞬态过电压电气设备是指电气装置组成部分的电气设备，例如配电箱、断路器和电气线路及其附件（包括电线、电缆、母干线、接线盒、墙上开关、插座等），它也可以是不经插座而是直接固定连接于电气装置经常使用的一些用电设备。例如楼道灯、电梯等。

IV 类耐瞬态过电压电气设备是指电气装置电源进线处或其附近紧靠总配电箱前的电气设备。它包括由供电部门管理的电源进线箱内的过电流防护电器和计费电度表等电气设备。

4.2.2 各级设备的耐瞬态过电压值和电气装置的瞬态过电压防护

从上述可知 I 级耐瞬态过电压水平是为防瞬态过电压危害对过电压敏感的设备提出的要求，II 级耐压水平是对制定由公用电网供电的一般用电设备标准的委员会提出的要求，III 级耐压水平是对制定组成电气装置的配电设备和材料标准的委员会提出的要求，IV 级耐压水平是对供电单位和电网工程师提出的要求。上述产品标准委员会和有关电气专业人员按表 3.4-11 满足各级设备的耐压水平后，就可解决电气装置内的绝缘配合问题，从而有效防止电气设备被瞬态过电压击坏事故的发生。

举例言之，在雷害严重程度为 AQ2 级地区，如一建筑物由低压架空线供电，则由电源进线箱内的过电流防护电器，或不经电源进线箱直接接电的总配电箱进线过电流防护电器，就不应采用耐瞬态过电压水平仅 4000V 的微型断路器，而应采用耐瞬态过电压至少为 6000V 的熔断器或具有等同耐压水平的断路器。

在上例中，如果建筑物内有若干对瞬态过电压敏感的信息技术设备，则为防止瞬态过电压引发的电气事故或经济损失，应注意采取适当措施将该等设备可能承受的瞬态过电压值限制在 1500V 以下。根据产品要求，也可能限制在更低值以下。

瞬态过电压主要由雷电产生,在电气装置的设计安装中应特别注意防范雷电冲击过电压的产生,并采取诸如分流、等电位联结、屏蔽、良好的接地和电气线路的合理布线来减少这种瞬态过电压的幅度,尽量使过电压的幅度不超过表3.4-11所列值。在许多情况下,危险瞬态过电压的发生是难以避免的,而在有大量敏感的信息技术设备的电气装置内,瞬态过电压引发的后果是十分严重的,这时需要安装必要的电涌防护器来泄放雷电的能量并限制其过电压幅度以消除或减轻灾害。关于电涌防护器的参数选用和安装接线参见本篇第5章。

## 5 信息技术(IT)设备的抗电磁干扰

随着信息时代的到来信息技术(Information Technology,简称IT)设备的应用日益广泛,这类设备的抗干扰的问题也随之而来。如果对于干扰问题不妥善处理,则IT设备难以正常工作,有时可能造成巨大的经济损失或不良政治影响。我国虽已颁布有关IT设备系统的设计规范,但对保证这类设备不受干扰正常运作的设计安装要求却鲜少规定。由于无章可循,我国这些年来建成的智能建筑能正常运行的并不多。其实IEC和一些发达国家根据多年积累的经验,早已制定和编写了IT设备抗干扰的标准和资料,可供我们借鉴,本章依据这些标准就此问题进行介绍。

需要说明,抗干扰问题的解决与设备本身抗干扰水平、工作频率以及现场干扰电磁场强度、用电电能质量等外界影响条件有关。在设计阶段往往无法掌握这些具体信息,难以在图样上完全妥善处理好抗干扰问题。有时可在电气装置安装完毕投入使用后在现场用仪器进行检测。判定干扰的起因和幅度后,装用一些电能净化设备来加以矫正。需要说明的是在电气装置的设计安装中如果注意消除一些引发IT设备电磁干扰的因素,不少干扰问题是可以避免的。常可因此避免昂贵的电能净化设备的装用。

IT设备的电磁干扰主要来自电源线路中的电压扰动、空间电磁场辐射以及接地和等电位联结不当。在电气装置的布置、走线、接地、等电位联结以及设备选用等各个方面如能消除或杜绝这些干扰源,不少干扰问题就可少发生。如果忽视这一要求,仍按一般电气装置进行设计安装,则在建设阶段就可能埋下日后电磁干扰的隐患,而建成使用后再改造电气装置则是十分困难的。

电网的供电电能质量不佳将影响IT设备的功能,但直接影响IT设备的是设备端子处的用电电能质量,它包括沿电源线路进入IT设备的各种类型的电压扰动(voltage disturbance),例如IT设备电源进线上的持续或暂时断电、持续的过电压或欠电压、电压暂降或暂升、电压波形畸变、电涌电压、电压波动等都可干扰IT设备的正常工作。现时往往误将供电部门对用户计费电度表处的供电电能质量等同于用户IT设备端子处的用电电能质量。要知这两种电能质量虽有关联,但并不等同。供电电能质量合格并不等于IT设备用电电能质量合格。干扰IT设备的电压扰动更多的是发生在用户电气装置内部,它需借电气装置的正确设计安装来减少或消除其不利影响。

就保证IT设备的正常工作而言,电能质量还没有确定的定义。一般言之,能保证IT设备正常工作的电能质量就是优良的电能质量。它不但包括上述由地区电网电源回路导入的电压扰动的抑制,也包括同一信息系统内各IT设备信息地电位的均等,PE线电流和共模电压的限制以及正确的接地、等电位联结等许多要求。

现时IT设备的频率高达百、千MHz,沿用过去打低电阻接地极的接大地来实现各IT设备高频条件下的均等的地电位是没有意义和不必要的。为此在同一建筑物内同一信息系统的IT设备须采用高频低阻抗的等电位联结系统电位来代替大地电位,即以接等电位联结系统这一导体来代替接大地。在相距较远的不同建筑物间的信息联系则以光信号联系代替电信号联系,从而在根本上消除地电位不均等引起的对IT系统的干扰。

IT设备的抗电磁干扰是个十分复杂的问题,下面将按IEC有关抗干扰措施作些介绍。

### 5.1 IT设备的抗电磁干扰措施

1) IT设备不应和干扰源设备共一条电源线路。IT设备遇到即使极短暂的间断供电也会丢失数据。它如果和大功率电动机共一条电源线路,则由于线路阻抗耦合,电动机启动时引起的大幅度电压暂降对IT设备而言,因端子电压过低,其影响无异间断供电,也可能丢失数据。有些大功率的非线性负载是引起波形畸变的谐波产生源,有些能产生电弧的设备则是能在线路上引起电压波动的干扰源,和这些干扰源设备在电源线路应予以分开。如能用不同的配电变压器供电,抗干扰效果将更好。

2) IT设备应远离产生电磁场的设备。大功率变压器和大电动机等设备都是产生干扰电磁场的设备,IT设备在空间布置上应远离这类设备,例如不要将IT设备安置在大变压器上或大电动机近旁。

3) IT设备应远离载有大电流的导体。诸如载有大电流的无屏蔽接地的母干线或穿塑料管大电流导线等,都能产生干扰电磁场,IT设备都应与之远离。

4) IT设备电源线路作用于切断电源的防护电器应有适当的延时。例如当遇到雷击时,感应产生的瞬态雷电冲击电涌通过电源线路对地放电,断路器、RCD等保护电器可能瞬动跳闸,引起不应有的间断断电,使数据丢失。如果保护电器稍具延时,就可躲过雷电冲击,避免这种间断供电。

5) 妥善设置IT设备的接地和等电位联结,这将在本篇第5章的5.2和5.3中另作介绍。

6) IT设备的信号线靠近电力线时,应加以屏蔽,两者交叉时应作直角交叉,以减少电力线对信号线感应产生的干扰。

7) IT设备的电源线和信号线应远离防雷装置的引下线,否则应加以屏蔽。

装有防雷装置的建筑物遭受雷击时,防雷引下线将瞬间通过以若干千安计的雷电冲击电流,其周围空间将产生强大瞬变电磁场。建筑物内IT设备的电源线、信号线如靠近引下线,不仅受其干扰,也可能因大幅值感应冲击过电压而损坏IT设备。因此这等线应远离防雷引下线至少2m,否则应加以屏蔽。

8) 接向同一信息系统的IT设备的信号线和电源线应布置在同一线路通道内,避免这两类线形成大封闭包绕环,感应雷电产生危害IT设备的瞬态过电压。

图3.4-40所示的两台IT设备期间的信号线和电源线未布置在同一线路通道内,从而形成一大面积的包绕环。当空间有瞬变电磁场时,此包绕环内将产生感应电压。包绕面积越大,感应电压越高,它能干扰甚至损坏IT设备。若能如图3.4-41所示,将信号线加以屏蔽并将两线路布置在同一线路通道内,但拉开适当距离( $\geq 50\text{mm}$ ),使其形不成大面积包绕环,则这种事故将无由发生。

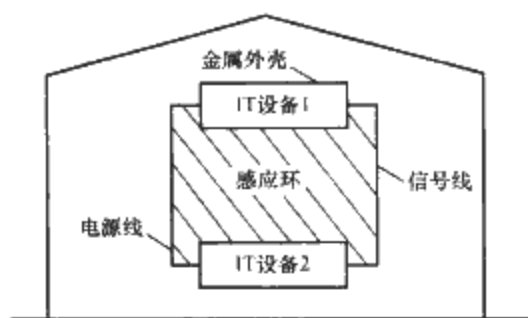


图 3.4-40 信号线和电源线形成大面积包绕环感应产生干扰电压

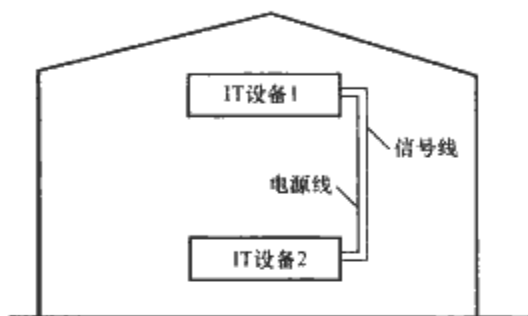


图 3.4-41 信号线和电源线敷设在同一通道内不形成包绕环

9) IT 设备的信号线宜采用屏蔽接地的电缆、穿钢管导线或双绞线，以消除或减少干扰电磁场的影响。

10) 多根单芯导线组成的多芯电源回路应套金属管槽作屏蔽，并在两端通过与等电位联结系统相连接而接地，以消除或减少单芯导线的不对称布置在其附近产生电磁场引起干扰。

11) IT 设备不得以 TN-C 系统供电。采用 TN-C-S 系统时，PEN 线应在建筑物电源进线处即分成 PE 线和中性线。

如图 3.4-42 所示为常用的 TN-C-S 系统。图中三台设备均为同一信息系统的 IT 设备。PEN 线进入建筑物后在总配电箱（图中未表示）处未将 PE 线和中性线分开，经一相当距离在分配电箱内（图中未表示）才分为 PE 线和中性线，并供给第二台、第三台 IT 设备。暂不论带电位的 PEN 线通过设备金属外壳与地面接触产生的杂散电流的危害，从图 3.4-42 中也可知，由于 PEN 线的电流产生的电压降，总等电位联结系统对地电位为  $\Delta U_1$ 。同理，对等电位联结系统而言，设备 ITE1 的电位为  $\Delta U_2$ ，由于 PEN 线未分为 PE 线和中性线，IT 设备 ITE2 的电位为  $\Delta U_2 + \Delta U_3$ ，两者之差为  $\Delta U_3$ ，它们之间的信号电缆中接机壳的地线将因  $\Delta U_3$  电位差而通过工频电流从而引起干扰。在分配电箱后由于 PE 线和中性线分开，IT 设备 ITE3 的地电位仍为  $\Delta U_2 + \Delta U_3$ ，它和 ITE3 的地电位都在同一电位水平上，不会产生干扰。所以在 TN-C-S 系统中，PEN 线在进入建筑物后即应分为 PE 线和中性线。

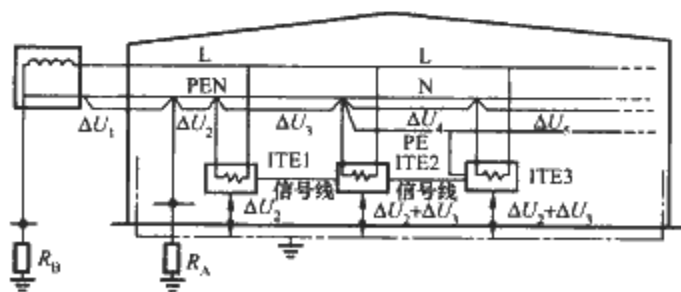


图 3.4-42 PEN 线在建筑物产生的电位差对 IT 设备引起干扰

从以上分析可以得知，IT 设备可采用 TN-C-S 系统、TN-S 系统、IT 系统线路供电，但不得采用 TN-C 系统线路

供电。

12) 分离的不同等电位联结系统建筑物之间宜采用光纤作信息联系。分离的不同建筑物的等电位联结系统的对地电位各不相同，存在电位差。若场所间仍采用金属导体作电信号的联系，势将因电位差而引起干扰。光纤联系是非电的联系，不会因电位差而产生干扰。

## 5.2 IT 设备的接地和等电位联结

IT 设备的正确接地和等电位联结是保证设备正常工作的重要措施。视 IT 设备的工作频率、本身的抗干扰水平和现场干扰源条件不同，其接地和等电位联结要求也不尽相同，现简述如下：

### (1) 保护接地和信号接地的关系

同一台 IT 设备有保护接地和信号接地两个接地：前者是为人身安全而设置的保护接地，即将设备金属外壳接以 PE 线的接地；后者是为实现信息系统功能的信号接地。按 IEC 标准规定，除极个别特殊情况外，一个建筑物电气装置内只允许存在一个共用的接地装置，并应实施等电位联结，这样才能在建筑内消除或减少电位差，保证电气安全和电气装置功能的正常发挥。对 IT 设备也不例外，其保护接地和信号接地只能共用一个接地装置而不能分别接不同的接地装置，如果分设两个接地，不但对人身不安全，而且对 IT 设备也同样不安全。不妨设想 IT 设备的电源线路感应雷电瞬态冲击过电压而进入 IT 设备，但设备的信号接地则另接单独的地，其电位为零伏，设备内部不可避免地某些部位出现危险的电位差，信息设备被雷电瞬态过电压击坏的危险将是很大的。如果共用一个地，信号地的电位即电源回路的 PE 线的电位，设备击坏的危险将小得多。

在共用同一接地装置并实施等电位联结后，对 IT 装置的接地电阻阻值的大小将没有要求。因 IT 装置是以等电位联结系统的电位而不是以大地为参考电位，接大地的接地电阻的阻值大小并不影响 IT 装置的工作。

需要说明，接地现在有更广泛的含义：接大地是接地；与代替大地的导体相连接，包括与等电位联结系统相连接，取导体或等电位联结系统的电位为参考电位也是接地。例如在飞机上将各电气系统与飞机金属机身作等电位联结也是接地。因此国外一些电气文献中接地（earthing）和等电位联结（bonding）两词常是通用的。还需说明，雷电流和静电电荷的泄放必须接大地，不接大地的等电位联结不具备这一作用。

### (2) IT 设备接地的特殊要求

随着 IT 设备的工作频率日益提高，因此要求尽量减小接地和等电位联结的高频阻抗，其走线应力求短、直。为此可将电源进线处的接地母排延伸为接地母干线，它沿建筑物外墙内侧的墙脚敷设。凡需联结的金属部分，例如金属结构、管道等都可在建筑物任一入口处就近与该接地母干线连接而不必接往汇集总等电位联结的接地母排，以减少等电位联结线的阻抗。柱子的钢筋应与此接地母干线连接以加强垂直方向的等电位联结。为使接地母干线的高频阻抗不致过大，接地母干线的截面宜适当加大。IEC 标准认为采用  $50\text{mm}^2$  截面积的铜质导体不但具有足够大的截面，也具有足够大的表面积来减少高频条件下的集肤效应，对减少接地系统的电阻分量和高频电抗分量在技术上和经济上是比较适当的。

对于大型建筑物，接地母干线可敷设成环。它可采用绝缘导体，也可采用裸导体。当采用裸导体时，如固定用的支

撑为另一种金属材料,则固定处的裸导体应包覆绝缘,以避免不同金属接触形成局部电池腐蚀接地母干线。

为保证等电位联结高频条件下的低阻抗和钢筋混凝土建筑物屏蔽的有效性,IEC标准规定的IT设备电气装置建筑物立柱内的主钢筋应采用焊接,并与接地母干线相连接。如果不允许焊接可采用压接,也可专门放置一作等电位联结用的钢筋,此钢筋的连接应采用焊接,它也可与原有的钢筋绑扎相连。

成排的IT设备如长度超过10m,宜在两个端头处与IT设备下铺设局部的等电位网格或接地母干线相连接而实现可靠的接地,以提高接地系统导通的可靠性。

### 5.3 IT设备接地方式推荐的三种范例

#### (1) 放射式(S式)接地

对于现有建筑物内抗干扰能力较强、工作频率较低的IT设备,可采用放射式接地方式,如图3.4-43所示。从图可知,从配电箱PE母排放射引出的PE线既是IT设备防人身电击的保护接地线,同时也是它的信号接地线。图中PE母排电位即是IT系统信号参考电位,因PE线具有较大的阻抗,因此设备间信号线承受的噪声水平较高。但对于抗干扰能力较强的IT设备,这种用带PE线插脚的三脚插头插入插座即接入电源并同时实现保护接地和信号接地的方式是最为简单易行的,它适用于住宅、小商业楼内的IT设备。

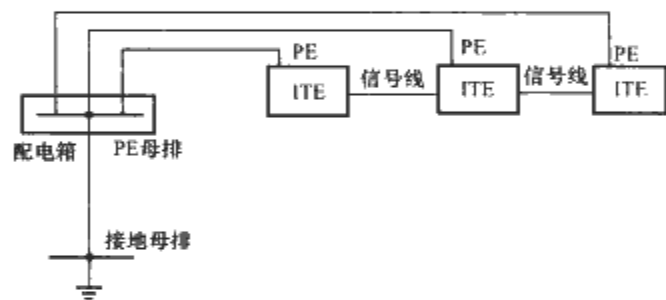


图 3.4-43 利用电源线路的 PE 线作放射式信号接地

这种接地方式中,如IT设备和其他干扰源设备共用同一末端回路和PE线,因回路阻抗的耦合,对此IT设备的干扰可能较强。如果此IT设备采用单独的不与其它设备共用的末端回路和PE线,将能大大减少干扰。

在有些情况下,图3.4-43中如将IT设备的PE线和配电盘内为其专设的PE母排加以绝缘,并用绝缘的PE线接向建筑物的接地母排,以泄放雷电流和静电荷,在接地母排以前与所有其他金属部分绝缘,其抗干扰效果可进一步提高。采用这种做法时,配电盘内将出现两个PE母排,IT设备加以绝缘的PE线和PE母排被称为隔离的PE线和PE母排。

#### (2) 水平局部等电位的网格(M式)接地

如图3.4-44所示,数台IT设备在同一楼层内。除用PE线作保护接地,还将IT设备的外壳尽量短直地连接到设备下方的局部水平等电位铜质网格上,以实现高频低阻抗的信号接地。网格也和配电箱内的PE母排相连接。网眼的尺寸约为IT设备工作频率的波长的1/10,可取为600mm×600mm。铜带宽可为60~80mm,厚约0.6mm,以增大表面积,减少信息系统接地中高频集肤效应导致的高频电抗。此水平铜网格的作用是为IT设备间的高频联结通路提供高频低阻抗的参考电位平面,使各IT设备的信号导地电位相等或接近,从而降低干扰水平。此网格仍需接至图示配电箱内IT设备同一PE母排上。这时IT设备的PE线仍需保留,因此PE线是用于防人身电击的,它必须紧靠相线以减少发

生接地故障时的故障回路的阻抗,提高自动切断电源防电击措施的动作灵敏度,两者不可或缺。

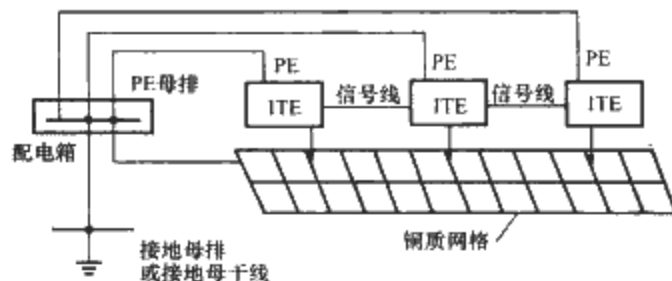


图 3.4-44 通过局部水平等电位网格作信号接地

在此接地方式中,如果将IT设备的电源线路以及PE线与其他线路分隔开,并将铜质网格与地绝缘,则抗干扰效果将更好,即PE线需和插座的金属接线盒、穿线钢管以及其他回路的PE线绝缘,直到与总等电位的接地母排联结为止。

#### (3) 水平与垂直的等电位联结接地

现时同一IT系统内的诸IT设备常不处于同一楼层内,又由于IT设备的工作频率日益提高,即使采用了上述水平局部等电位网格接地方式,并将PE线予以绝缘隔离,但由于在高频条件下导体与导体间存在电容耦合,互相靠近的导体间又存在电感耦合,虽然导体间互相绝缘但高频干扰将通过这等耦合而难以消除。在高频条件下导体间的绝缘已无意义,为此又推出了另一种水平和垂直等电位联结的接地方式。

采用这种方式时,在信息网络建筑物内有需要的楼层内需视需要装设水平等电位网格,这些网格不和所在场所的电气装置外露导电部分、建筑物金属结构、管道等绝缘而是就近连接。各楼层间则须通过金属结构、管道等作垂直的联结,如图3.4-45所示。采用这种接地方式时也需要从总等电位联结接地母排引出接地母干线,以便与各种金属结构、管道等作水平的和垂直的低阻抗的直接连接。

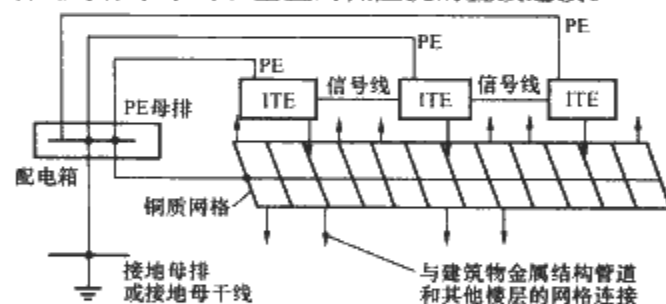


图 3.4-45 通过水平和垂直的等电位联结作信号接地

由于这种接地方式具有众多的联结点 and 分流并联通路,其高频阻抗可大大降低,对于只具有一般抗干扰水平的IT设备,它可以消除大部分的干扰。IT设备与其下网格的联结线也应尽量短直,某长度以不大于500mm为好,以降低高频电抗。网眼的尺寸不应过大,否则将影响抗干扰的效果。这种接地方式特别适用于新建的有大量信息系统的建筑物,它能较好适应设计时对各种干扰因素尚不清楚的场所。

### 5.4 IT系统中电能净化设备的应用

正确设计和安装电气装置只能在一定程度上消除或减少用电电能质量问题对IT设备的干扰,在不少情况下往往还需装用电能净化设备来消除或减少电压扰动,提高用电电能质量。下面将简述这类设备的应用。

#### (1) 调压器

由于公用电网和电气装置本身负载的周期性变化,电气设备处会出现持续的工频过电压或欠电压,即电压的正偏差



或负偏差。过大的电压偏差将使 IT 设备和其他电气设备工作不正常，它常因电气装置设计不当引起。例如不合理的电气装置结构，用低压线路长距离供电给大负载，供电线路阻抗过大，无功功率未得到合理的补偿等。不少过大电压偏差是由电压管理不当引起的，例如配电变压器无激磁调抽头的抽头位置不正确引起。如果设计和管理无误而仍出现过大偏差影响设备的正常工作则需装用合适的调压器，例如感应调压器、有载调压变压器等。

#### (2) 滤波器

在电气装置设计中应视具体情况，选用谐波电流成分少的设备和器件，例如采用 12 脉冲桥式整流而不采用 6 脉冲桥式整流，给气体放电灯配置节能式电感镇流器而不选用谐波含量大的电子式镇流器等。但谐波电流的产生在电气装置中总是难以避免的，必要时需装回滤波器来消除或减少电源线路中的谐波含量使 IT 设备免受其危害。

滤波器有无源滤波器和有源滤波器两类。前者结构简单，成本低廉，由电感和电容元件组成，只适用于参数不变的谐波的抑制。后者能检测谐波和适应其参数的变化，它能产生幅值相同相位相反的谐波来抵消电气装置内的有害谐波。后者比较理想，但价格昂贵。

#### (3) 电涌防护器

这种防护电器可泄放雷电流和限制雷电涌压的幅值，使 IT 设备免受雷电涌压的危害，也可减少瞬态涌压对 IT 设备的干扰，其选用和安装将在本篇下文内介绍。

#### (4) 双绕组变压器

此种 1:1 的双绕组变压器因电能—磁能—电能的转换

作用而在其二次侧另起一个电源系统的始点 (origin)，从而消除过大共模电压和过大 PE 线电流对 IT 设备的干扰和电气危险。

#### (5) 电动机-发电机组

这种电能净化设备藉电能—机械能—电能的转换在发电机侧另起一个源系统的始点。它可输出没有任何电压扰动的十分纯净的正弦波电源。由于电动机、发电机组本身的机械惯量，在电气装置内发生暂时断电或电压暂降的短时间内，它也能继续运转使 IT 设备的供电不间断。它常配置一个飞轮以增加机械惯量来延长这一继续运转的时间。这种电能净化设备在一些发达国家得到较广泛的应用。

#### (6) UPS

UPS (不间断电源) 在我国应用广泛，它将交流整流为直流给蓄电池充电储能，同时将直流逆变为交流给 IT 设备或其他重要负载供电。由于电流的转换，电源侧一些电压扰动被隔离，因此它既能保证电源的继续供电，也能起到抗干扰的作用。但它输出的交流电压波形并非纯净的正弦波形，而是类似方波的波形，为此需用滤波器加以矫正。其能持续供电的时间决定于蓄电池的容量。由于蓄电池的价格昂贵，寿命有限，它适用于给对电源转换时间短和抗干扰要求高的 IT 设备之类的功率不大的重要用电设备作净化电能和应急电源用。如果将 UPS 设备用于给电源转换时间和用电电能质量要求不高的大功率用电设备 (如消防泵) 作长时间供电的应急电源 (EPS) 则难以论证其技术经济合理性。

(王厚余)

# 第 5 章 电气设备的选择和安装

## 1 通用规则

### 1.1 工作条件

#### (1) 电压

电气设备应与电气装置的标称电压相适应。

在 IT 接地系统的电气装置如果引出中性导体，接在线导体和中性导体之间的电气设备应采用线电压的绝缘水平。因为 IT 系统一相接地时，其余两相的相电压均升至线电压( $\sqrt{3}$ 相电压)。对某些设备，需考虑正常工作时可能出现的最高和/或最低电压。例如电动机，当供电电压的正负偏差超过其允许值时，对电动机的正常运行、绝缘状况及其效率等将产生不良影响。

#### (2) 电流

电气设备应按正常工作时承载的设计电流进行选择。

电气设备还应能承载异常情况下可能流过的其持续时间由保护电器特性决定的电流。这种异常情况下的电流包括诸如电动机的起动电流、堵转电流、变压器励磁涌流、过负荷电流、短路电流、接地故障电流等。相关电气设备的热稳定和动稳定电流经过校验应符合标准的要求。

#### (3) 频率

如果频率对设备的性能有影响，设备的额定频率应与该回路的电流频率一致。

供电的频率对某些电气设备例如电机的功率、转速、

转矩的特性影响较大。例如额定频率为 50Hz 的电动机用于 60Hz 的供电系统，其输出功率和转速变化较大。又如电气设备的感抗和容抗与工作频率有直接关系，所以有些开关电器和仪器的控制线圈等元件用于 50~60Hz 的系统是否可以兼容，需取得制造厂家提供有关的技术数据为依据。

#### (4) 功率

按功率特性选择的电气设备应适用于计入负荷系数后的正常工作条件。

负荷系数=指定时间周期内的平均负荷/同一指定时间周期内的尖峰负荷。

在实际工作中可根据具体设备的负荷特征来估计其负荷系数作为确定设备功率的条件。

#### (5) 兼容性

所有选用的设备在正常工作和通断操作过程中，均不应对其他设备以及正常供电产生有害影响。否则，安装时应采取适当的预防措施。

诸如设备的通断所产生的涌流或涌压，可能引起其他设备误动作或绝缘受到冲击而损坏等，选择和安装设备时应考虑到能够安全地承受上述影响。

### 1.2 外部影响

电气设备应按照表 3.5-1 的要求进行选择和安装，表中表示设备根据可能遇到的外部影响所应具备的性能。

表 3.5-1 常见外部影响的特征

代 号	外 部 影 响	设备的选择和安装的特征
A	环 境 条 件	
AA	环境温度 环境温度是设备安装处的环境温度，包括同处安装的其他设备所产生的影响，但不考虑该设备本身运行时所产生的热量	采用特殊设计的设备或适当的配置
	环境温度的：      上限      下限	
AA1	-60℃      +5℃	
AA2	-40℃      +5℃	
AA3	-25℃      +5℃	
AA4	-5℃      +40℃	正常（某些情况需特殊的预防措施）
AA5	+5℃      +40℃	正常
AA6	+5℃      +60℃	采用特殊设计的设备或适当的配置
AA7	-25℃      +55℃	
AA8	-50℃      +40℃ 只有不受湿度影响的情况下，才有以上环境温度的等级。 在 24h 时间周期内的平均温度必须在上限以下不超过 5℃	



续表

代 号	外 部 影 响					设备的选择和安装的特征	
AB						空 气 湿 度	
	气温 (℃)		相对湿度 (%)		绝对湿度(g/m³)		应采取适当的配置
	下限	上限	低	高	低	高	
AB1	-60	+5	3	100	0.003	7	
AB2	-40	+5	10	100	0.1	7	
AB3	-25	+5	10	100	0.5	7	正常，有的场所可采用温度或湿度控制
AB4	-5	+40	5	95	1	29	
AB5	+5	+40	5	85	1	25	
AB6	+5	+60	10	100	1	35	
AB7	-25	+55	10	100	0.5	29	应采取适当的配置
AB8	-50	+40	15	100	0.04	36	
AC						海 拔	
AC1	≤2000m					正常	
AC2	>2000m					可能需采取特殊的措施，例如降容。有些设备在海拔 1000m 及以上时，需采取适当的配置	
AD						有 水	
AD1	可忽略					防护等级：IPX0	
AD2	滴水					IPX1 或 IPX2	
AD3	淋水					IPX3	
AD4	溅水					IPX4	
AD5	喷水					IPX5	
AD6	水浪					IPX6	
AD7	浸水					IPX7	
AD8	潜水					IPX8	
AE						有外来固体物或尘埃	
AE1	可忽略的					防护等级：IP0X	
AE2	小物体（2.5mm）					IP3X	
AE3	很小的物体（1mm）					IP4X	
AE4	轻度尘埃[>10mg/(m²·日)，≤35mg/(m²·日)]					IP5X 或 IP6X（尘埃不宜进入设备）	
AE5	中度尘埃[>35mg/(m²·日)，≤350mg/(m²·日)]					IP5X 或 IP6X（尘埃不宜进入设备）	
AE6	重度尘埃[>350mg/(m²·日)，≤1000mg/(m²·日)]					IP6X	
AF						有腐蚀性或污染物	
AF1	可忽略					正常	
AF2	大气					根据物质的特性进行防护	
AF3	间歇或偶然					按照设备说明书的要求进行防护	
AF4	连续					根据物质的特性采用特殊设计的设备	
AG						机 械 撞 击	
AG1	轻微					正常	
AG2	中等					采用标准工业设备或加强防护	
AG3	强烈					采取加强防护措施	
AH						振 动	
AH1	轻微					正常	
AH2	中等					采用特殊设计的设备或特殊的配置	
AH3	强烈					采用特殊设计的设备或特殊的配置	
AK						有 霉 菌	
AK1	无害					正常	
AK2	有害					采取特殊的防护措施	
AN						日 光 辐 射	
AN1	弱（强度≤500W/m²）					正常	
AN2	中等（强度>500W/m²，≤700W/m²）					应采取适当的防护措施	
AN3	强（强度<700W/m²，≤1120W/m²）					应采取适当的防护措施（例如采用抗紫外线材料、涂上特殊颜色、屏蔽）	
AP						地 震	
AP1	可忽略（加速度≤30cm/s²）					正常	
AP2	轻微（加速度>30cm/s²，≤300cm/s²）					可按照有关的抗震规范的要求	
AP3	中等（加速度>300cm/s²，≤600cm/s²）						
AP4	强（加速度>600cm/s²）						
AQ						雷 击	

续表

代 号	外 部 影 响	设备的选择和安装的特征
AQ1	可忽略 (雷暴日 $\leq 25$ 日/年)	正常
AQ2	间接雷击 (雷暴日 $> 25$ 日/年)	正常
AQ3	直接雷击	应符合防雷设计标准的规定
AR	气 流	
AR1	轻微 (流速 $\leq 1\text{m/s}$ )	正常
AR2	中等 (流速 $> 1\text{m/s}$ , $\leq 5\text{m/s}$ )	采取适当的防护措施
AR3	强 (流速 $> 5\text{m/s}$ , $\leq 10\text{m/s}$ )	采取适当的防护措施
AS	风	
AS1	微风 (风速 $\leq 20\text{m/s}$ )	正常
AS2	中风 (风速 $> 20\text{m/s}$ , $\leq 30\text{m/s}$ )	采取适当的防护
AS3	大风 (风速 $> 30\text{m/s}$ , $\leq 50\text{m/s}$ )	采取适当的防护
B	使 用 情 况	
BA	人 的 能 力	
BA1	一般人	正常 (未受过培训)
BA2	儿童	设备防护等级: $> \text{IP2X}$ ; 插座不小于 $\text{IP2X}$ 或 $\text{IPXXB}$ 。设备表面温度大于 $80^\circ\text{C}$ (托儿所和类似场所为 $60^\circ\text{C}$ ) 不可触及
BA3	残疾人	根据残疾的性质而定
BA4	受过培训人员	电气作业区
BA5	熟练人员	封闭的电气作业区
BC	人与地电位的接触	
BC1	不接触	设备的电击防护类别
		0—0 I I II III
		在非导电场所的人 允许 不允许 允许 允许
BC2	不频繁	人平时不与外界可导电部分接触或不站在可导电的表面上 允许 允许 允许 允许
BC3	频繁	人频繁与外界可导电部分接触或站在可导电的表面上 有大量或大面积外界可导电部分的场所 不允许 允许 允许 允许
BC4	连续	人浸在水中或长时间接触周围金属部分, 要摆脱的可能性有限
BD	紧急情况下疏散条件	
BD1	聚集密度低, 疏散容易	正常
BD2	聚集密度低, 疏散困难	高层建筑
BD3	聚集密度高, 疏散容易	影剧院、百货商场等
BD4	聚集密度高, 疏散困难	对公众开放的高层建筑 (宾馆、医院等)
BE	加工或储存的物料的性质	
BE1	无显著风险	正常
BE2	火灾风险	制造、加工或储存可燃物 (包括粉尘) 设备由耐火材料制成。采取措施使电气设备的高温升或设备内的火花不会引起外部火灾
BE3	爆炸风险	生产或储存爆炸性或闪点低的物质 (包括粉尘)。采用符合防爆设计规范要求 的电气设备
BE4	污染风险	采取适当的故障防护措施, 例如防止掉灯泡碎片等、防有害的红外线或紫外线
C	建筑物的结构	
CA	建 筑 材 料	
CA1	不可燃	正常
CA2	可燃	建筑物采用不可燃材料
CB	建筑物设计	
CB1	几乎没有风险	正常
CB2	着火蔓延	设备由阻燃材料制成, 包括由非电气装置引起火灾的防护措施。可采用火灾探测器
CB3	位移	电气线路采用伸缩接头
CB4	柔性的或不稳定的	

1.3 可接近

包括配线在内的所有设备布置应便于操作、检查和维修，且便于接近连接点。

1.4 识别

- 1) 中性导体：浅蓝色。
- 2) 保护导体：绿色/黄色。
- 3) 绝缘的 PEN 导体。
  - ①全长用绿色/黄色，端头用淡蓝色。
  - ②全长用淡蓝色，端头用绿色/黄色。

1.5 预防相互间的不利影响

1) 设备的选择和安装应使电气装置和任何非电气装置之间避免任何有害的影响。

没有后挡板的设备不能安装于建筑物表面，除非满足以下要求：

- ①能防止电压传导到建筑物表面。
- ②在设备和可燃建筑物表面之间设置防火层。

如果建筑物表面是非金属材料 and 不可燃物时，不需另加防护措施。否则，可采用下列措施之一来满足这些要求：

①如果建筑物表面是金属材料的，应将其与保护导体或电气装置的等电位联结导体相连接。建筑物金属表面视为与设备的外露可导电部分可同时触及的外界可导电部分，应做等电位联结。

②如果建筑物表面是可燃的，应将设备用合适的耐燃材料制成的中间层与之分离。

2) 不同电流类型或不同电压等级的设备组装在一个共用单元（例如一个配电盘柜或一台控制台箱）时，如果需要避免相互间的不利影响，应将任何不同类型电流或不同电压等级的全部设备有效地分隔开。

3) 电磁兼容。

①抗扰度电平和发射电平的选择。设备的抗扰度应考虑到正常使用时，设备的连接及安装会出现的电磁影响，还应考虑到与设备的用途相适应的工作连续性。

②应选择发射电平足够低的设备，以避免其发射电平在电导或空气中传导时对建筑物内外其他电气设备造成电磁干扰。必要时，可采取减少发射电平的措施。详见有关电磁干扰防护部分的章节。

1.6 保护导体电流

电气装置的设计，应对在正常运行条件下由电气设备本身产生的保护导体电流具有兼容性，以确保电气装置的正常和安全使用。

电气设备制造厂家应提供有关设备的保护导体电流资料。如果制造厂家未提供必要的资料，由 50~60Hz 额定频率供电的设备，其保护导体电流的允许限值规定见表 3.5-2。

表 3.5-2 保护 (PE) 导体电流的允许限值

回路类别	设备的额定电流	允许的保护导体电流的限值
额定电流不大于 32A 的 单相或三相插座回路	≤4A	2mA
	>4A, ≤10A	0.5mA/A
	>10A	5mA

续表

回路类别	设备的额定电流	允许的保护导体电流的限值
保护导体未采用特殊保护措施 的固定设备或额定电流 大于 32A 的单相或三相插 座回路	≤7A	3.5mA
	>7A, ≤20mA	0.5mA
	>20A	10mA

在正常工作情况下，保护导体电流一般包含接入电气设备的泄漏电流。此外，由于设计、安装或维护不当也可能在保护导体中出现不应有的杂散电流，详细情况见有关电击防护和电磁干扰防护部分有关章节的内容。

过量的保护导体电流会造成对敏感设备的电磁干扰、埋地的保护导体腐蚀或引起周围易燃物质着火。

为了避免剩余电流保护电器的误动作，应考虑保护导体电流的影响。

关于加强型的保护导体，详见本章第 4 节《接地装置》有关条款的要求。

在电气装置中为了限制保护导体电流，可采用有限范围的具有分隔绕组的变压器。

2 电气线路

2.1 电气线路的类型

1) 根据导线或电缆的型式，电气线路的安装方式应符合表 3.5-3 的规定。

表 3.5-3 导线和电缆的安装方式

导线和电缆	敷 设 方 式							
	不用 固定件	线夹	导管	电缆 槽盒	电缆 管槽	电缆梯架、 托盘、支架	绝缘 子上	吊线
裸导线	-	-	-	-	-	-	+	-
绝缘导线	-	-	+	+	+	-	+	-
护套电缆 (包括铠装和 矿物绝缘)	多芯	+	+	+	+	+	0	+
	单芯	0	+	+	+	+	0	+

注 + 允许；- 不允许；0 不用或不常用。

IEC/TC64 标准修改草案中提出，如果绝缘导线要敷设在电缆线槽上，仅允许采用防护等级至少为 IP4X 或 IPXXD 的电缆线槽，并且具有只能用工具打开的盖板。

国内有的办公室、住宅等采用线夹固定绝缘导线的敷设方式是不符合以上规定的。

2) 交流回路。交流回路的导体敷设在铁磁外护物（外壳或管子）中时，应将每个回路的所有导体敷设在同一外护物中，以免感应产生涡流引起过热。

交流回路不应采用钢丝或钢带铠装的单芯电缆。单芯电缆的钢丝或钢带铠装视为铁磁外护物。

3) 采用导管和电缆槽的电气线路。如果所有导体的绝缘能耐受出现的最高标称电压，则允许在同一多芯电缆、同一导管或电缆槽敷设多个回路。

只要满足以上规定，应该是能够保证使用安全，当然还要考虑维护方面的方便性。目前少数国家和我国原先规定只允许一个主回路及其辅助（控制）回路敷设在同一多芯电缆中。

4) 回路的配置。一个回路的导体不应分配在不同的多芯电缆、导管或电缆槽，但采用多根多芯电缆并联组成的一

个回路不按上述规定。并联的每根多芯电缆应包含每相中的一个导体。

多个配电回路不允许采用一个共用配出的中性导体。但是,单相交流终端回路可以由一个多相交流回路中的一个线导体和只配出一个共用中性导体组成。该多相回路应装设断开所有带电导体的隔离电器。

三相回路所含的三次谐波电流将汇合在中性导体中而互不抵消。

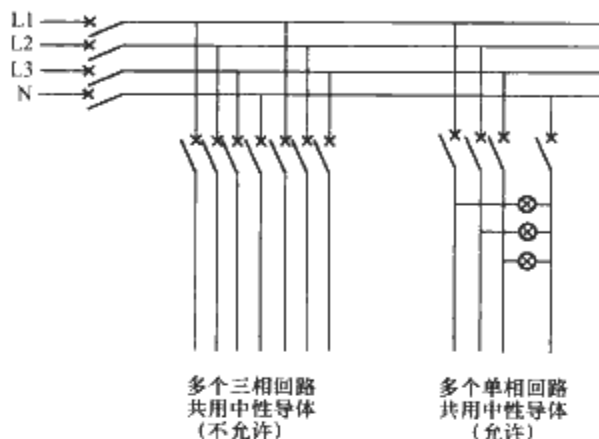


图 3.5-1 多回路共用中性导体

注: 中性导体不需保护器件。

## 2.2 按外界环境影响条件选择电气线路

敷设方式的选择应确保电气线路所有相应部件对预期的外界影响具有防护功能。具体的敷设方式详见国家标准《布线系统》(GB 16895.6—2000)和《布线系统载流量》(GB/T 16895.15—2002)。

### (1) 环境温度

电气线路的选择和敷设应适宜于所在地点环境温度的最高和最低值范围以内的温度,并且确保在正常运行情况下以及在故障情况下的温度均不超过其温度限值。

最高温度主要影响到导体的温升,最低温度关系到绝缘导线和电缆的绝缘性能。故障情况下的温度限值是作为导体热稳定校验的依据。

### (2) 外部热源

为了免受外部热源的影响,应采取下列方法之一来保护电气线路:采用防护罩;电气线路与热源保持足够的间距;选择适用于可能发生额外温升的电气线路;局部加强或替换电气线路的绝缘材料,例如采用耐热绝缘护套。

### (3) 滴水、溅水、浸水

固定安装的完好无损电缆的护套和绝缘通常可认为是防潮的。处在经常滴水、溅水或浸水的电气线路及其附件应采取相应的防水措施,并符合表 3.5-1 中水环境的防护等级的材料。线路上可能形成积水或有冷凝水的情况下,应采取除水措施。

### (4) 外来颗粒物或尘埃

根据电气线路所处的位置和外来颗粒物的大小,采用符合表 3.5-1 中有外来固体物或尘埃环境的防护等级要求。有较多尘埃的地方应采取措施以防尘埃积聚在线路表面,从而可能影响线路的散热。

### (5) 腐蚀性或污染物

应采取适当的防护措施或采用耐腐蚀的材料。应防止不同材料接触产生电解作用。例如铜铝导体的连接宜采用专制的铜铝接头。

### (6) 机械撞击

在安装、运行和维护期间承受中等及以上撞击能量

( $\geq 2J$ )的撞击情况下,可采取以下的防护措施:

- 1) 利用电气线路本身的机械强度。
- 2) 选择好线路的安装位置。
- 3) 采用附加局部的或整体的机械防护。
- 4) 综合采用上述措施。

例如:应注意防护敷设在有叉车行走或有可能被刺穿的地板内或地板下面的线路,为此可采用合适的电缆槽或导管等作为附加保护措施。

### (7) 振动

支撑或固定在有中等及以上强度振动的设备结构上的电气线路,应采用适宜于该安装条件的线路及其部件。还要特别注意对线路接头的防护。

要特别注意连接到振动的设备或接到悬挂灯具等用电设备的线路,为此可采用软电缆。

### (8) 其他机械应力

1) 应避免电气线路在安装、运行和维护期间损坏线路的绝缘和护套以及线路的接头。

2) 正确选择线路的弯曲半径以免损坏线路及其接头免受不应有的应力。

3) 应在适当的间距处采用合适的方式支撑线路以免由于承受过大的线路自重而损坏。

4) 承受固定张力(例如垂直敷设的自重)的线路,应选择合适的线路型式、截面和安装方式以免导致线路损坏。

5) 需要从导管或电缆槽中穿入和抽出的线路,应有足够的维护空间。

6) 埋设在地板内的线路应有充分的防护措施,以免由于施加给地板的外力作用而使线路受损。

7) 埋设在墙内的线路应与房间的边线成水平或垂直敷设,埋设在天花板或地板内的线路可按最短的实际路径敷设。

8) 软导线和软电缆的安装应避免对导体及其接头承受过大的张力。

9) 埋地的电缆及其附件应具有机械防护措施或适当埋深,尽可能减少其受害风险。埋地电缆应有识别标志。

10) 电缆的支撑件和外护物不应有锐利的部位,以免容易损伤线路。

11) 固定电缆和导体时应避免电缆和导体受到损害。

12) 线路穿越可能热胀冷缩部位时,应使所连接的电气设备免受位移的损害(例如采用伸缩接头等)。

13) 线路穿过固定隔板时,应采取机械防护措施,例如采用导管、金属护套或铠装等。

### (9) 霉菌

1) 采用便于清除霉菌的安装方式。

2) 采用封闭装置(例如导管)的配线方式以及定期清扫。

### (10) 小动物或害虫

可采取以下防护措施:

1) 利用电气线路本身的机械强度(例如采用金属护套)。

2) 选择好线路的安装位置。

3) 采用附加局部的或整体的密封或机械防护。

4) 综合采用上述措施。

### (11) 日光辐射

有大于  $500W/mm^2$  较强的日光紫外线辐射的地方可采用防护罩,还要考虑由此产生的温升问题。

### (12) 地震

列为轻微及以上 ( $>30\text{cm/s}^2$ ) 地震的地区, 应注意线路在建筑物上的固定以及固定安装的线路与所有重要设备 (例如安全设施) 之间的接头, 此处应采用柔性连接。

#### (13) 风力

有大于  $1\text{m/s}$  风力的情况下, 应采取防止风力对线路引起的振动和其他机械应力造成危害的措施。

#### (14) 加工生产或储存的物料

根据物料的性质采取必要的防火或防爆措施。

#### (15) 建筑物的特征

安装在可能有位移或柔性、不稳定的建筑物的线路, 应采用柔性的安装方式。

## 2.3 载流量

导体规定的载流量应该是在正常工作情况下, 持续长时间产生的热效应为条件以期导体及其绝缘能够达到合理的使用寿命。

1) 在正常运行情况下, 导体在持续时间内的载流量应使导体的温度不超过表 3.5-4 中所规定的适当温度限值。

表 3.5-4 各类绝缘的最高运行温度

绝缘类型	温度限值 (见注 1) ( $^{\circ}\text{C}$ )
聚氯乙烯 (PVC)	70 (导体)
交联聚乙烯 (XLPE) 和乙丙橡胶 (EPR)	90 (导体) (见注 2)
矿物绝缘 (PVC 护套或可触及的裸护套) 电缆	70 (护套)
矿物绝缘 (不允许触及和不可燃物相接触的裸护套电缆)	105 (护套) (见注 2、3)

注 1. 线或电缆的最高允许运行温度取自 IEC 6052 (1983) 和 IEC 60702 (1981), 也可按制造厂家提供的经过认证的数据。  
2. 导体运行的温度超过  $70^{\circ}\text{C}$  时, 应确定连接该导体的设备的接头能适应该温度条件。  
3. 矿物绝缘电缆允许有较高运行温度, 取决于电缆的额定温度以及其端头、环境条件和其他外部影响。

如果交联聚乙烯绝缘电缆的温度限值是  $90^{\circ}\text{C}$ , 而低压电器的接头允许的温度限值一般是  $75^{\circ}\text{C}$ , 则交联聚乙烯绝缘电缆与该低压电器的接头其温度限值显然不匹配, 实际上在这种情况下就不能充分发挥该电缆的载流量, 否则容易造成接头过热会引起故障。

各种导体的载流量、线路敷设的各种校正系数等的具体数据, 详见国家标准《布线系统载流量》(GB/T 16895.15—2002)。

母线槽的载流量应由制造厂家根据国家制定的标准提供有关的数据。

2) 环境温度。环境温度是指电缆或绝缘导线无负荷时周围介质的温度。

众所周知, 根据保护电器的产品标准规定: 在  $2\text{h}$  以内过负荷  $1.2$  倍时过负荷保护电器不会动作。由此可见, 敷设绝缘导体和电缆的地点, 如果其最高环境温度只是偶尔在  $2\text{h}$  以内超过设计所采用的计算环境温度时, 在考虑了过负荷因素的情况下, 一般可不考虑其最高环境温度的校正系数。反之, 如果其最高环境温度多次出现在  $2\text{h}$  以上的情况下, 则应相应地降低其载流量值。因此, 我国有的现行设计规范规定选择导体的载流量笼统地按照最高日或月平均温度或空调计算温度等, 看来是缺乏充分的依据。

对于埋地电缆, 假如土壤温度一年当中只有几个星期超

过不大于  $5\text{K}$  时不需校正。

3) 土壤热阻系数。埋地电缆的载流量值, 对应于土壤热阻系数  $2.5\text{k}\cdot\text{m/W}$ 。未能明确土壤类型及地理位置时, 通常可取此值。当实际土壤热阻系数高于  $2.5\text{k}\cdot\text{m/W}$  (例如非常干燥的土壤) 时, 应适当降低载流量或用更恰当的材料更换贴近电缆周围的土壤。埋地电缆的载流量数据仅适用于敷设在建筑物内和周围的电缆。对于其他情况可进行实测或估算。

4) 多回路成束电缆。含有不同允许最高运行温度的成束绝缘导线或电缆, 成束电缆中所有的绝缘导线或电缆的载流量应根据其中允许最高运行温度最低的那根电缆的温度来选择, 并用适当的成束电缆的降低系数来校正。

假如运行条件已知, 有一根绝缘导线或电缆预计负荷电流不超过成束电缆敷设时的额定电流值的  $30\%$ , 计算成束电缆中的其他电缆的降低系数时, 该电缆可忽略不计。

成束电缆和绝缘导线中有不同截面的绝缘导线或电缆, 偏安全的成束降低系数计算公式如下

$$F = 1/\sqrt{n}$$

式中,  $F$  为成束降低系数;  $n$  为成束电缆和绝缘导线中的电缆和导线数量。

#### 5) 带负荷的导体数。

①在回路中所考虑的导体数系指那些带负荷电流的导体。如果在多相回路中的导体所带的负荷为平衡电流, 则可不考虑其中性导体作为负荷导体。在这种情况下, 三相回路中的四芯电缆和相线截面相同的三芯电缆有相同的载流量。

上述原则不适用于含有 3 次或 3 的倍数的其总谐波电流畸变率大于  $15\%$  的回路。

②由于线电流不平衡导致多芯电缆的中性导体有电流, 由于中性导体电流产生的温升被一相或多相导体产生热量的减少所抵消。在这种情况下, 导体截面应按最大的线电流来选择。

在所有情况下, 中性线导体的截面应满足表 3.5-4 和 2.4 款等的要求。

③如果中性导体带有电流而其相应的线导体的负荷未减少, 则确定回路载流量时, 应把中性导体作为负荷导体考虑。该中性导体的电流可能是由于三相回路中存在显著的谐波电流造成的, 假如谐波含量大于  $15\%$ , 则中性导体的截面不应小于线导体的截面。

④保护 (PE) 导体不应作为负荷导体考虑, PEN 导体应和中性导体同等对待。

6) 并联导体。当多个带电导体或 PEN 导体在系统内并联连接时, 要在并联导体间分享均等的负荷电流。

假如导体有相同的材质、相同的截面、大约相同的长度、沿线无分支回路, 且满足以下条件就认为满足了均衡分配要求:

①并联导体是多芯电缆或绞合的单芯电缆或绝缘导线。

②并联导体为成三角形或平行敷设的非绞合单芯电缆或绝缘导线, 其截面积小于或等于  $50\text{mm}^2$  (铜) 或  $70\text{mm}^2$  (铝)。

③并联导体是成三角形或平行敷设的非绞合的单芯电缆或绝缘导线, 而且截面积大于  $50\text{mm}^2$  (铜) 或  $70\text{mm}^2$  (铝)。对于这种排列需采用特殊结构, 不同线导体或极性之间应有适当组合和适当的距离。

7) 沿敷设路径的条件变化。当沿敷设路径各分段的散



热条件各不相同，电缆的载流量应按散热条件最不利的分段确定下来。

2.4 导体的截面

1) 根据机械强度的要求，交流回路的线导体和直流回路的带电导体规定的最小截面积见表 3.5-5。

表 3.5-5 导体的最小截面积				
线路的型式		回路的用途	导 体	
			材料	截面积 (mm <sup>2</sup> )
固定式设备	电缆和绝缘导线	电力和照明回路	铜	1.5
			铝	2.5 (见注 1)
	裸导体	信号和控制回路	铜	0.5 (见注 2)
		电力回路	铜	10
			铝	16
用软绝缘导线和软电缆连接		信号和控制回路	铜	4
		用于特定的用电器具	铜	由相关的标准规定
		用于其他用途		0.75 (见注 4)
		用于特殊用途的特低电压回路		0.75

注 1. 导体终端的接头应通过用于这种特殊用途的验证。自 2007 年起 IEC 标准草案提出为了与《电缆的导体》标准 (GB/T 3956—1997) 取得一致，铝的截面积 2.5mm<sup>2</sup> 改为 10mm<sup>2</sup>。  
2. 电子设备的信号和控制回路允许采用的最小截面为 0.1mm<sup>2</sup>。  
3. 特低电压照明的特殊要求见有关标准的规定。  
4. 7 芯及以上的软电缆可采用注 2 的规定。

2) 在下列情况下，中性导体应和线导体具有相同的截面：

- ① 不论截面积多大的单相两线制回路。
- ② 多相和单相三线制回路中，线导体截面积不大于 16mm<sup>2</sup> (铜) 或 25mm<sup>2</sup> (铝)。
- ③ 关于含有谐波电流的情况另见本章 2.5 的要求。
- 3) 多相回路中，每一线导体截面积大于 16mm<sup>2</sup> (铜) 或 25mm<sup>2</sup> (铝) 且满足以下全部条件，中性导体截面积可以小于线导体的截面：

① 正常运行时中性导体的预期最大电流 (包括谐波电流) 不大于截面减小了的中性导体的允许载流量，正常运行时回路各相的负荷宜均匀分配。

- ② 中性导体采取下列的过电流检测保护措施：
  - a. TN 或 TT 系统的中性导体应装有对应于其截面的过电流检测器件，此检测器件动作时断开线导体，但不需断开中性导体。
  - b. IT 系统的中性导体应装有过电流检测器件，此检测器件动作时，断开线导体和中性导体。满足下列条件时可不装过电流检测器件：

中性导体已在电源端短路保护电器的保护范围之内；或特定回路由额定剩余动作电流不大于相对应的中性导体载流量的 0.2 倍，该剩余电流保护器动作时断开相应回路的线导体和中性导体。

在 IT 系统的中性导体应受保护。假设一个终端回路的中性导体发生第一次接地故障后，当第一次故障未解除之前又在其他回路某一相导体发生接地故障，此时转变为单相短路，剩余电流保护器应自动切断电源。为了确保剩余电流保护器动作的灵敏度，规定其动作电流值应不超过中性导体的载流量的 20%，才能在中性导体未装过电流检测器件的情

况下仍能可靠地实现保护该中性导体。

3) 中性导体的最小截面积应为 16mm<sup>2</sup> (铜) 或 25mm<sup>2</sup> (铝)。

4) 选择导体的截面还应考虑满足电击防护、热效应保护、过负荷保护、短路保护、电压降、电能损耗以及导线电缆与设备相连接的端子上的温度限值相匹配等。

关于保护电器的保护整定值与其连接的电气线路的截面之间的保护配合方式，详见本篇过负荷保护、短路保护和接地故障保护部分章节的规定。

2.5 谐波电流

三相回路中的各单相非线性负荷所含的 3 次谐波电流叠加起来流过中性导体 (见图 3.5-2)，结果会引起中性导体的电流有可能超过工频相电流，最高可达相基波电流的 1.7 倍左右。

3 次谐波主要是由气体放电灯如荧光灯、电脑等非线性负荷产生的。

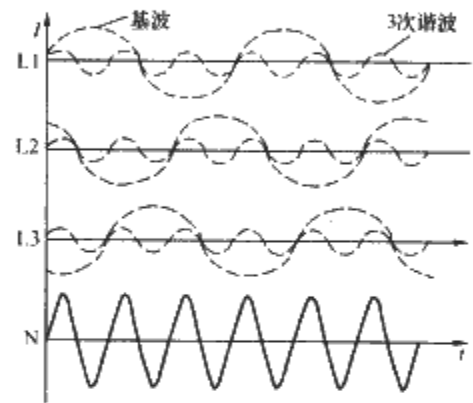


图 3.5-2 3 次谐波电流波形

如果在相与相之间存在大于 50% 的不平衡度，此时中性导体的电流等于谐波电流加上不平衡电流。总之，按照表 3.5-6 选择导体的截面需要加大时，应该注意要同时加大中性导体和线导体的截面。关于谐波电流降低系数的计算实例，详见国家标准《布线系统载流量》(GB/T 16895.15—2002)。值得注意的是计算中所取的是相基波电流，而不是其总谐波电流。

表 3.5-6 4 芯和 5 芯电缆选择用的 3 次谐波降低系数		
相电流中三次谐波含量 (%)	降低系数	
	根据相电流为基准选用的系数	根据中性导体电流为基准选用的系数
0~15	1.0	—
15~33	0.86	—
33~45	—	0.86
>45	—	1.0

注 1. 中性导体与线导体同截面、同材质。  
2. 假如预计有大于 15% 的 9 次，12 次等高次谐波，或三相不平衡度大于 50%，则还要再加大截面。

2.6 在用户电气装置中的电压降

电气装置的电源端和任意用电负荷点之间的电压降不宜大于下表 3.5-7 中的数值。此电压降的数值是对应于电气装置的标称电压。

表 3.5-7 电压降的最大值

内 容	照明	其他用途
直接由公用低压配电系统供电的低压电气装置	3%	5%
由用户自备低压电源供电的低压电气装置（见注）	6%	8%

注 在终端回路中的电压降尽可能不超过上行中的数值。

当电气装置的主干线的长度大于 100m 时，上表中的数值在线路长度超过 100m 之后，电压降可以每米增加 0.005%，但不得加到大于 0.5%。

电压降是根据用电设备计及需要系数和参差系数的计算电流确定的。在电动机起动期间或产生大冲击电流的其他设备可以有较大的电压降，但要保证其电压变动是在相关设备的产品标准所规定的限值范围以内。电压降的演算不考虑瞬变电压和异常运行状态下的电压变化。完全不平衡的三相回路（只有一相带负荷），则按单相回路计算电压降。除了照明以外的特低电压回路（诸如电铃、控制、开门回路等），只要核查这些设备工作正常就不需要满足上述规定的电压降的限值。

## 2.7 电气连接

1) 导体与导体之间以及导体与其他设备之间的连接应保证其电气的连续性和具有足够的机械强度和防护性能。

2) 连接方式的选择应合理地考虑下列因素：

- ①导体的材料及其绝缘。
- ②构成导体的芯线形状和数量。
- ③导体的截面。
- ④连接在一起的导体数量。

3) 除了通信回路以外应避免采用锡焊连接。

4) 除了下列情况之外，所有的连接应易于检查、试验和维护：

- ①埋地敷设的电缆的接头。
- ②用复合物填充或密封的接头。
- ③与天花板或地板等加热元件之间的接头。
- ④用电焊、锡焊等或压接工具连接的接头。
- ⑤符合相关产品标准的设备组成部分的接头。

5) 应预防接头在正常运行时的温度损害与其连接的导体的绝缘。

6) 终端回路导体的终端接头应在外护物（诸如设备外壳、接线箱）里面。该外护物应具有足够的机械保护和对外界影响的防护性能。

7) 电缆和导线的接头应减轻其机械应力，以免损害电缆和导线。

## 2.8 电气线路的选择和安装的要求

为了最大限度限制火灾的蔓延，对电气线路的选择和安装的要求如下：

(1) 防火分区的预防措施

1) 应按外部环境影响条件选择电气线路的规定，选用合适的材料和安装方式的电气线路，以期最大限度地限制火灾的蔓延。

2) 电气线路的安装应不降低建筑物的结构性能和防火的安全水平。

3) 电缆应符合《电线电缆燃烧试验方法》（GB 12666.2—1990）等及其必要的阻燃性能。

4) 如果使用不符合 GB 12666.2—1990 最低火焰蔓延要求的电缆，该电缆只局限于用电器具与固定安装的线路之间

的短线连接，在任何情况下不允许从一个防火分区连通到另一个防火分区。

5) 除了电缆以外的电气线路如果不符合有关标准中关于火焰蔓延的最低要求，但符合标准中的其他所有要求，应完全封闭在合适的非燃性的建筑材料中。

6) 符合有关标准中关于火焰蔓延的阻燃要求的导管和母线槽的安装，可以不需要特殊的预防措施。

(2) 电气线路穿过孔洞的封堵

1) 电气线路通过建筑构件如地板、墙、天花板、隔板等留下的空洞，在线路通过后应按建筑构件原有的防火等级的规定予以封堵。

2) 电气线路包括导管、电缆槽、母线或母线槽穿过有规定的防火要求的建筑构件时，应按原有的防火等级从内部封堵，并按本章 2.8 中 (1) 的要求进行封堵。

3) 电气线路的封堵应通过型式试验才能满足 2.8 中 (1) 和 (2) 款的要求。

4) 由符合有关产品标准的非延燃的内部最大截面积为 710mm<sup>2</sup> 的导管或电缆槽，若同时满足下列条件时不需要从内部封堵：

①线路通过《外壳防护等级（IP 代码）》（GB 4208—1993）中 IP33 等级的试验。

②被建筑构件分隔的穿通某一间隔的线路终端，通过 GB 4208—1993 中 IP33 等级的试验。

5) 电气线路不应穿过承重建筑构件，除非线路穿通该构件后仍能保证承重建筑构件的完整性。

## 2.9 电气线路靠近其他设施

(1) 靠近电气设施

交流小于等于 50V 和大于 50V 的回路或直流小于等于 120V 和大于 120V 的回路不应包含在同一的配线系统中，除非采取下列方法之一：

- 1) 每一电缆或导线的绝缘耐受其中的最高标称电压。
- 2) 多芯电缆中每一导体的绝缘耐受其中的最高标称电压。

3) 电缆的绝缘耐受其供电系统电压，并安装在电缆管槽或电缆槽盒中分开的间隔内。

4) 电缆安装在电缆拖盘中，且用隔板加以分隔。

5) 采用分开的导管或电缆槽。

6) SELV 和 PELV 特低电压回路与其他回路的带电部分之间至少应具备基本绝缘的保护分隔，通常可采取下列办法之一来实现：

①除了具备基本绝缘之外，SELV 和 PELV 特低电压回路的导体还应封闭在非金属护套内或在绝缘外护物内。

②SELV 和 PELV 特低电压回路的导体应采用接地的金属护套或接地的金属屏蔽物与电压高于交流 50V 或直流 60V 的回路导体进行分隔。

③如果 SELV 和 PELV 特低电压回路的导体的绝缘耐受其中的最高标称电压，则电压高于交流 50V 或直流 60V 的回路导体可包含在多芯电缆或其他成束导体之中。

④其他回路符合双重绝缘或加强绝缘保护措施的有关规定。

⑤空间位置上的分隔。

通信和数据传输等类似回路，需要特殊考虑电磁干扰和静电干扰问题。

关于电气线路靠近防雷保护系统的分隔要求，详见有关防雷保护规范的规定。

### (2) 靠近通信电缆

埋地的通信电缆和电力电缆交叉或靠近时,应保持100mm的最小间距或满足下列要求:

- 1) 应在电缆之间设置阻燃隔板,诸如砖、电缆保护盖板、模块(混凝土等类似材料)、耐火材料制成的导管等。
- 2) 应在电缆交叉处设置机械保护构件,诸如铁制电缆保护板、金属或合成材料制成的电缆导管、混凝土电缆盖板或模块等。

### (3) 靠近非电气设施

1) 电气线路不应安装在产生有害的热、烟、气体的设施附近,除非用防护罩保护,且不影响线路的散热。

安装在机器的轴下面、机座或机坑中,电缆的敷设不应暴露在连续运行时产生有害影响(例如气体、水或蒸汽)的邻近设施之处。

2) 沿着可能产生凝聚(水、蒸汽或气体)的设施下面敷设的线路应采取预防措施,使其免受有害的影响。

3) 电气线路安装在接近非电气设施的地方,应使非电气设施的运行或操作不会损害电气设施,反之亦然。

采用以下方法可以达到以上要求:

- ① 电气线路与其他非电气设施之间保持适当的距离。
- ② 采用机械或隔热的保护罩。

(4) 电气设施安装在紧邻非电气设施的地方应满足的条件

电气设施安装在紧邻非电气设施的地方应满足下列条件:

- 1) 电气线路应有适当的保护措施,以防其他设施的正常使用对线路产生危害。
- 2) 应按照有关电击防护规范采取间接接触防护措施。

## 3 保护、隔离、通断、控制和检测电器

### 3.1 总则

1) 保护、隔离、通断、控制和检测电器的选择和安装应完全满足电气装置预期功能的要求、环境条件和各种安全防护的规定。

2) 多相回路的多相电器所有极的动触头应采用机械联动使之可靠地同时闭合和断开,但是仅用于中性导体的触头可在其他触头闭合之前先闭合,在其他触头断开之后才断开。

3) 在多相和单相回路中不允许采用单独动作的单极开关器件插入到中性导体。

### 3.2 接地故障自动切断电源电器

#### 3.2.1 过电流保护电器

接地故障保护电器的选择和安装应符合电击防护的有关规定。

用于IT系统的过电流保护电器的各极应适用于线电压。

IT系统在发生第二次绝缘故障时,应切断包括中性导体在内的相应带电导体。

#### 3.2.2 剩余电流保护器(RCD)

(1) 选择交流供电系统的剩余电流保护器的要求

- 1) 剩余电流保护器的特性。
- 2) 接地故障保护的要求。
- 3) 附加保护的要求。
- 4) 供电的连续性。
- 5) 使用人员的能力。

### (2) 剩余电流保护器的特性

剩余电流保护器的型式按其动作特性分为:与供电电压无关;与供电电压有关;与辅助电源有关。

剩余电流保护器的选择,应考虑接地故障电流的波形对剩余电流保护器的工作性能的影响。各种型式剩余电流保护器适用于如下的电流特性:

- 1) AC型:只适用于剩余交流正弦电流。
- 2) A型:适用于交流故障电流和脉动直流故障电流。
- 3) B型:适用于交流故障电流、脉动直流故障电流和平滑直流故障电流。
- 4) S型剩余电流保护器:延时动作。故障电流波形如图3.5-3所示。

### (3) 对剩余电流保护器总的要求

1) 剩余电流保护器应确保切断被保护回路的所有带电导体(线导体和中性导体)。但是,TN-S和TN-C-S系统的电气装置,在其供电条件下中性导体可认为是地电位时,允许剩余电流保护器不切断中性导体。

2) 保护导体不允许穿入剩余电流保护器的外部剩余电流传感器。在特殊情况下例如采用铠装电缆,应由熟练人员监督将保护(PE)导体反向再穿入同一个电流传感器,但保护导体应该是绝缘的,在第1、2次穿入时不允许接地。保护导体电流经过正反向穿通后即可相互抵消,不会影响剩余电流保护器的正常使用,详见图3.5-4。

3) 可能由一般人、儿童或残疾人使用的剩余电流保护器,应设计或安装成不用钥匙或工具就不能任意触动其剩余电流整定机构。

### (4) 用作接地故障保护的剩余电流保护器的选择

1) 用作接地故障保护和防直接接触附加保护的剩余电流保护器,如果其额定剩余动作电流是30mA,则可采用同一个剩余电流保护器。

没有保护(PE)导体的回路中采用剩余电流保护器,即使额定剩余动作电流不超过30mA,也不应作为防止间接接触的保护措施。

2) 关于电气设备的直流泄漏电流和对地直流故障电流分量的资料,可由设备制造厂提供。另外,对产生以上直流分量的设备可采取预防措施,如:

- ① 采用Ⅱ类防电击类别的设备取代相对应的Ⅰ类设备。
- ② 采用简单电气分隔的变压器供电。
- ③ 限制上述设备出现含有直流分量的剩余电流超过6mA,或出现这种情况时可采用保护器件切断该电流等措施。

3) 当外部环境影响特别恶劣或潮湿环境可能损害设备的绝缘的情况下,应采用额定剩余电流不大于30mA的剩余电流保护器。

4) 剩余电流保护器应相应地满足TN、TT和IT系统的有关要求:

① TN系统。如果电气装置采用过电流保护措施,完全不能满足电击防护标准的要求时,可采用剩余电流保护器。

② TT系统。TT系统的剩余电流保护器应装在电气装置的供电端,除非电气装置的供电和剩余电流保护器之间符合Ⅱ类设备或等效绝缘的保护要求。

③ IT系统。如果发生第一次故障时不要求切断电源,剩余电流保护器的额定剩余动作电流应大于预期第一次接地故障电流值的2倍。如果发生第一次故障时要求切断电源,剩余电流保护器的额定剩余动作电流应小于预期第一次接地故障电流,同时应大于预期正常泄漏电流的2.5倍。

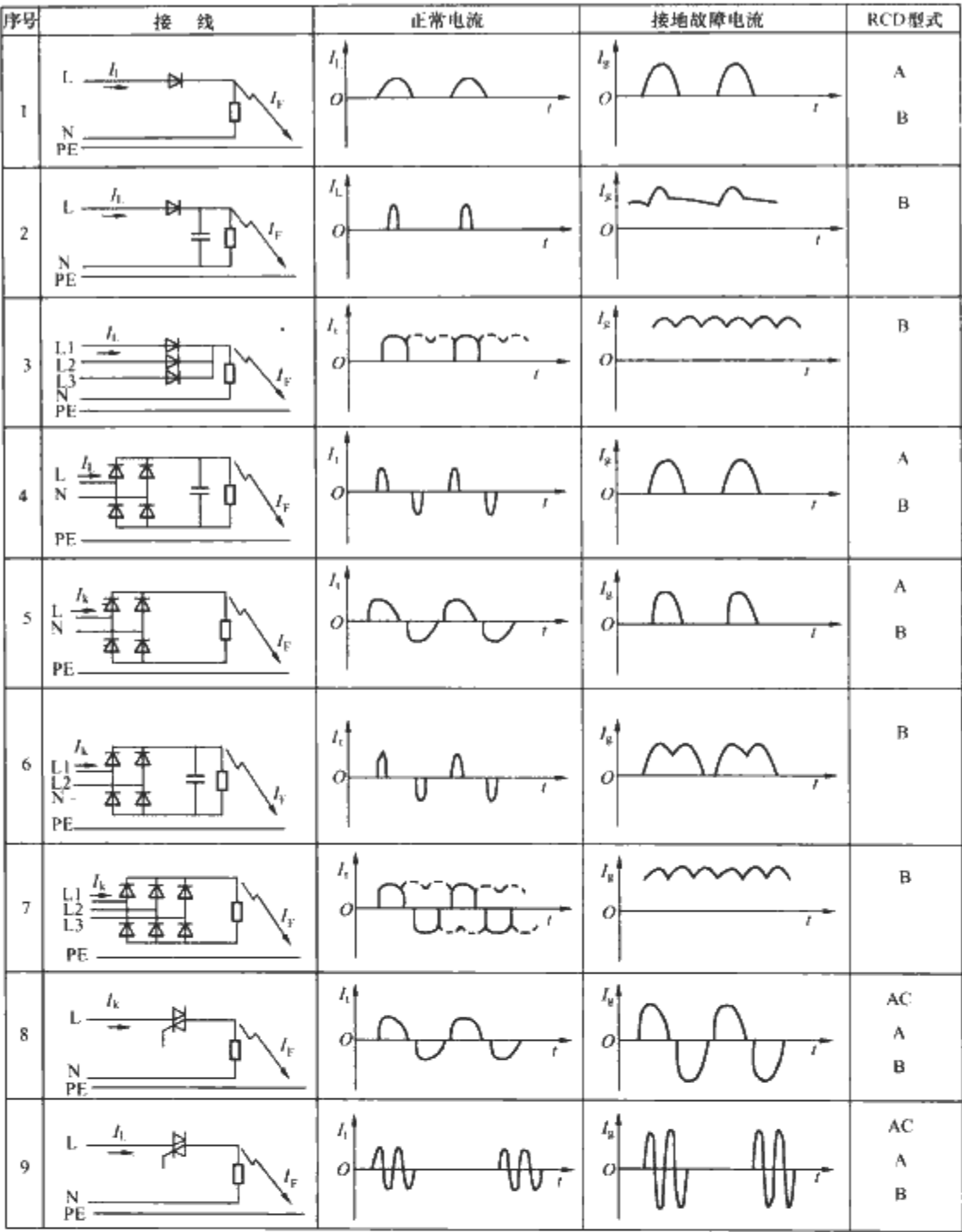


图 3.5-3 各型剩余电流保护器的适用电流波形图

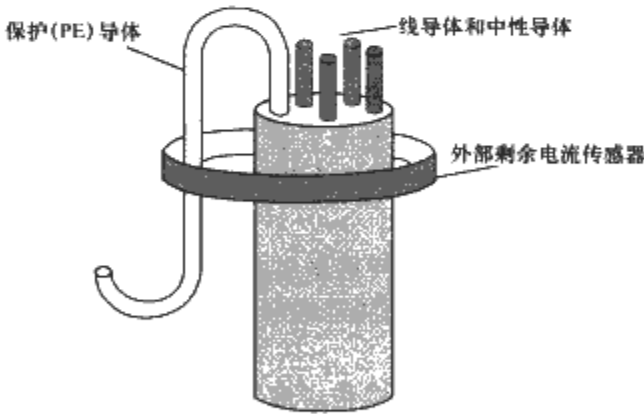


图 3.5-4 剩余电流保护器的剩余电流传感器

根据电气设备外露可导电部分保护（PE）导体的接地连接方式，剩余电流保护器动作电流的确定，应符合电击防护方面的要求。

用于上述场合的 IT 系统的剩余电流保护器，应满足制造厂家应用说明书中提出的具体要求。

5) IEC/TC64 2008 年标准修改草案规定。

考虑到剩余电流保护器的电源控制回路有可能断线（例如电子式剩余电流保护器），则采用剩余电流保护器应满足下列要求：

对于保护单相回路的剩余电流保护器，其供电电压从 1.1 倍额定电压至 85V 的范围内，或对于保护三相回路的剩余电流保护器，其供电电压降至 0.7 倍额定电压时，均能保证正常工作，或剩余电流保护器应由熟练或受过培训的专业人员维护操作。

6) 具有滤波器的数据处理设备，正常工作时的泄漏电流大，为了预防误动作不宜采用剩余电流保护器。

(5) 对于采用剩余电流保护器作为附加保护的要求

1) 作为防直接接触附加保护用的剩余电流保护器，其额定剩余动作电流应不大于 30mA。

2) 在下列场合应采用剩余电流保护器作为附加保护：

①一般人用于普通用途的额定电流不大于 20A 的电源插座。

②额定电流不大于 32A 的户外电源插座。

3) 对于特殊场所或特殊设备，以及有合格的专业人员监督下使用（例如在工业和商业场所）的电源插座，不受上述要求的限制。

4) 剩余电流保护器自动切断电源，可能会对一些设备例如数据处理器和深冻冰箱等有影响。为此，可采用如下措施：

①配置单个剩余电流保护器的专用供电回路。

②采用电气分隔变压器直接供电。

(6) 供电的连续性

1) 在电压下降或供电回路电压断电的情况下, 剩余电流保护器自动断开, 并在电压恢复后继续断开。这种剩余电流保护器不宜用于需要连续供电的场合。

2) 为了预防由于剩余电流(保护导体电流和泄漏电流)误动作, 剩余电流保护器负荷侧累计的剩余电流限值为其额定剩余动作电流的 0.4 倍。由单个剩余电流保护器保护的电源插座回路, 该剩余电流保护器的额定剩余动作电流不大于 30mA 时, 要考虑可能接到该回路的插座数量和设备的特性。

3) 在通断用电设备的电流时, 例如有大的充电滤波泄漏电容的特定的情况下, 如果采用普通不带延时的剩余电流保护器有可能引起误动作。因此, 推荐采用带时限的符合产品标准的 S 型剩余电流保护器。

4) 剩余电流保护器应能防止由于电磁干扰而引起误动作。

5) 由于大气过电压导致产生的瞬变电流, 可能引起剩余电流保护器的误动作, 宜采用符合产品标准的 S 型剩余电流保护器。

在剩余电流保护器的负荷侧装有电涌过电压保护器时, 宜采用 S 型剩余电流保护器。建议将电涌过电压保护器装在剩余电流保护器的电源侧。

(7) 防火用的剩余电流保护器

在有火灾危险场所的一些终端回路(例如不是敷设在至少为 IP4×防护等级的线槽、拖盘、导管等中的线路), 应采取如下的绝缘故障的防护措施:

1) TN 和 TT 系统。

①采用额定剩余动作电流不大于 300mA 的剩余电流保护器, 动作于切断电源。

②采用绝缘检测器进行连续监测, 发生接地故障时报警。配置故障定位系统有助于找出故障点。此外, 还可采用过热、电弧故障效应、火灾报警探测器等保护措施。

根据实验表明, 泄漏电流超过 300mA 就有可能起火。因此, 防火用的剩余电流保护器应该选用其额定剩余动作电流不大于 300mA。我国现行规范规定采用不大于 500mA 的剩余电流保护器应该相应地修改。

对于安全设施(例如消防系统等要求供电连续性高的其他特别重要的负荷), 可采用剩余电流检测器(RCM)代替剩余电流保护器(RCD)。

所谓有火灾危险的场所是指制造、加工或储存易燃物的场所。

矿物绝缘电缆和母线槽盒不大可能由于绝缘故障引起火灾, 所以不需要采取上述防护措施。剩余电流保护器应装在被保护回路的供电端。

剩余电流保护器动作时应切断线导体和中性导体。

如图 3.5-5 所示, 当剩余电流保护器不切断中性导体时, 接地故障电流仍继续存在, 容易起火。

2) IT 系统。应安装绝缘检测器, 当发生第 1 次故障时发出声光报警; 发生第 2 次故障时保护电器动作于切断电源。

3) 对于爆炸危险场所的防护, 详见相关的规范和标准。

(8) 剩余电流保护器之间的选择性

上下级回路的剩余电流保护器之间可采取全部或部分选择性。为了获得全部选择性, 应满足以下两个条件:

1) 上级剩余电流保护器的额定剩余动作电流至少宜等于下级剩余电流保护器的额定剩余动作电流值的 2 倍。

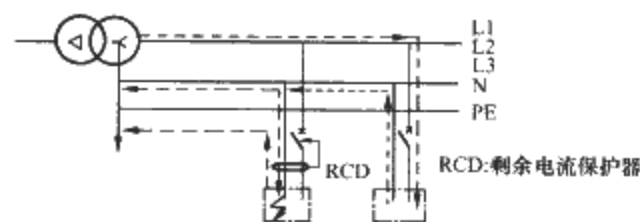


图 3.5-5 防火场所的剩余电流保护器

2) 对于所有接地故障电流, 上级剩余电流保护器的不动作时间宜大于下级剩余电流保护器的不动作时间。例如上级剩余电流保护器的额定剩余动作电流至少等于下级剩余电流保护器的额定剩余动作电流值的 3 倍, 而且上级保护器的动作时间大于下级保护器的时间时, 就有可能实现全部选择性(见图 3.5-6)。

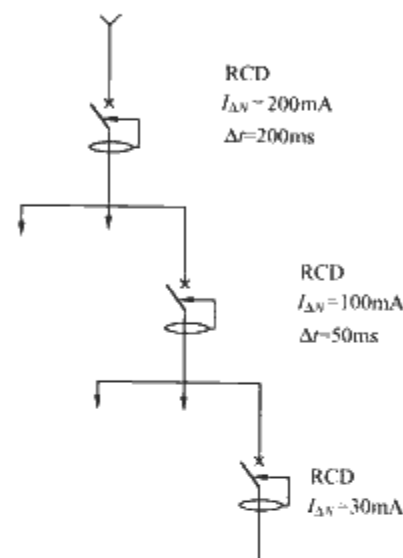


图 3.5-6 3 级具有全部选择性的剩余电流保护器

如果满足不了上述全部选择性的两个条件, 只能实现部分选择性。每个保护器的最大分断时间应满足电击防护规定的要求。两个均为无延时的剩余电流保护器, 当上级的额定剩余动作电流为 500mA, 下级的为 30mA 的条件下也无法实现选择性, 因为接地故障电流足于使上级的保护器动作。

反之, 如果上级选用 S 型具有延时特性的额定剩余动作电流为 300mA 的保护器, 下级是额定剩余动作电流为 30mA 不具有延时特性的保护器, 则能实现全部选择性。

(9) 剩余电流保护器的额定动作及最大接地电阻

表 3.5-8 列出了用于不同额定剩余电流的剩余电流保护器, 其设备外露可导电部分(或回路阻抗)的最大接地电阻值(电压为 50V)。

表 3.5-8 剩余电流保护器的额定动作电流及最大接地电阻

剩余电流保护器的最大剩余电流值 $I_{\Delta n}$	外露可导电部分的最大接地电阻 ( $\Omega$ )
20A	2.5
10A	5
5A	10
3A	17
1A	50
500mA	100
300mA	167
100mA	500
$\leq 30\text{mA}$	$\geq 500$



### 3.3 过电流保护电器

#### (1) 一般要求

1) 熔断器和断路器应符合相关的产品标准。低压熔断器的选用应根据负荷的性质和类别来确定,例如用于电动机回路应选用 gM 型或 aM 型,其特性曲线能适应电动机的启动特性;而 gG 型熔断器则适用于其他一般负荷。

2) 熔断器的安装应符合相关的施工安装规范和标准。

3) 当断路器可能由非合格的电气专业人员操作时,其设计和安装应做到不用钥匙或工具就不能触动其过电流特性的整定值。

#### (2) 电气线路过负荷保护电器的选择

1) 保护电器的标称电流或整定电流参见本篇第4章有关过电流保护方面的内容。在某些情况下为了避免保护误动作,要考虑负荷的尖峰电流值。

2) 当三相回路的线电流的谐波分量可能超过中性导体的载流量时,中性导体应有过负荷检测器,该检测器动作后应使保护电器切断线导体,但是不需切断中性导体。其他措施诸如增设滤波器或加大中性导体的截面等可以减轻谐波电流的影响。

#### (3) 电气线路短路保护电器的选择

1) 选择保护电器的短路分断和接通能力以及短路动热稳定性时,应考虑预期最大短路电流,校验保护电器的保护灵敏度要考虑最小运行条件下的最小短路电流。根据最大和最小短路电流值可从保护电器的特性曲线查出其保护的动作时间。

2) 断路器的产品规格中规定有额定运行短路分断能力和额定极限短路分断能力。

额定运行短路分断能力  $I_{cs}$  是在规定的试验条件下具有连续承载额定电流的能力,或在约定时间内承载不中断电流的 0.85 倍。

$I_{cs}$  的试验操作程序为: O—t—CO—t—CO, 其中 O: 分断; t: 间隔时间; CO: 合闸后分断(以下同)。

额定极限短路分断能力  $I_{cu}$  是在规定的试验条件下不具有连续承载额定电流的能力,或在约定时间内承载不中断电流的 0.85 倍。

$I_{cu}$  的试验操作程序为: O—t—CO。

一般情况下有不少产品规格规定的  $I_{cs}$  值比  $I_{cu}$  值小,如果要求  $I_{cu} = I_{cs}$ , 应与制造厂家商定,价格增加。

采用  $I_{cu}$  或  $I_{cs}$  作为选择断路器的技术指标,原则上是根据使用的具体场合而定。对于重要负荷当发生故障后不允许较长时间更换断路器时,需采用  $I_{cu} = I_{cs}$  的断路器。此外,一般情况下在电气装置的受电端(电源进线)或供配电回路的供电端可采用  $I_{cu} = I_{cs}$  的断路器,其余的馈电线路可采用  $I_{cs} \leq I_{cu}$  的断路器。

### 3.4 过电压保护电器

#### 3.4.1 总则

对于建筑物电气装置电涌保护器 (SPD) 的选择和安装提出以下要求:

1) 限制从电源供电系统传来的大气瞬时过电压和操作过电压的防护措施。

2) 在建筑物装有防雷装置的情况下,用于建筑物直接雷击或在建筑物邻近雷击引起的瞬时过电压的防护措施。

电涌电压是由于大气放电、感应现象、电气设备或线路的通断操作或电气系统本身故障造成的电涌电流在系统中产

生的暂时或瞬时过电压。

根据接地和保护等电位联结的规定,应将避雷引下导体与建筑物内电气装置的总接地端子做等电位联结(有爆炸危险的建筑物应遵循有关的规范标准处理)。

#### 3.4.2 建筑物内电气装置的电涌保护器

##### (1) 电涌保护器的应用

对防止间接雷击或远处的雷击引起的大气过电压和操作过电压的保护,通常装设通过 II 级试验的电涌保护器,必要时可装设通过 III 级试验的电涌保护器。

对防止间接雷击或远处的雷击引起的大气过电压和操作过电压的保护,除另有规定之外,上述电涌保护器应安装在建筑物电气装置的电源端附近,或安装在离电气装置电源端最近的主配电盘柜内。

对防止直接雷击或电源供电系统附近发生雷击,引起的过电压除另有规定之外,上述电涌保护器应安装在电气装置的电源端。

保护敏感设备可能需要增设电涌保护器,这种电涌保护器应该与安装在前级的电涌保护器互相配合。

关于电信和信号线路的电涌保护,详见有关规范和标准的规定。

防雷区 (LPZ) 的划分如图 3.5-7 所示。

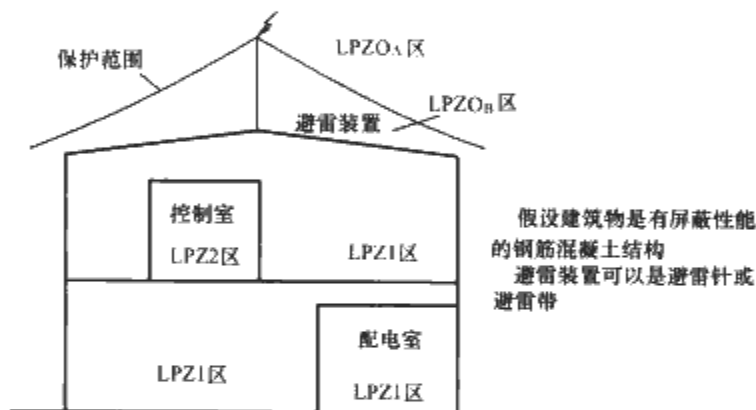


图 3.5-7 建筑物防雷分区示例

电涌保护器试验等级的分类如下:

I 级: 采用标称放电电流  $I_n$ , 1.2/50 $\mu$ s 冲击电压和最大冲击电流  $I_{imp}$  做试验。

II 级: 采用标称放电电流  $I_n$ , 1.2/50 $\mu$ s 冲击电压和 8/20 $\mu$ s 电流波的最大放电电流  $I_{max}$  做试验。

III 级: 采用组合波做试验。

标称放电电流  $I_n$ : 流过电涌保护器 8/20 $\mu$ s 电流波的电流峰值。

耐受 10/3520 $\mu$ s 典型波形的部分雷电流的电涌保护器需要用最大冲击电流  $I_{imp}$  做相应的冲击试验。

雷击电流波形如参数如图 3.5-8 所示。

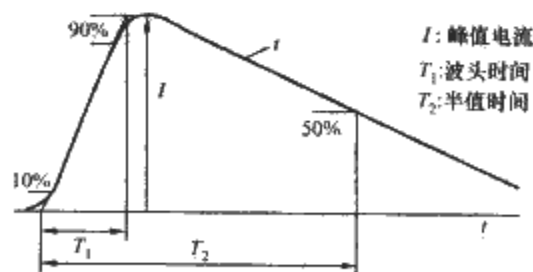


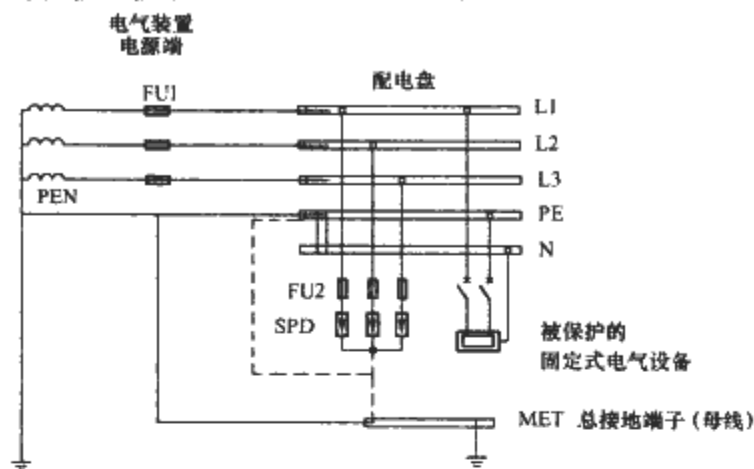
图 3.5-8 短时雷击电流波形

例如 10/350 $\mu$ s 和 8/20 $\mu$ s 波形中的分子 10 和 8 表示如图 3.5-8 中的波头时间  $T_1$ , 分母 350 和 20 表示半波时间  $T_2$ 。



## (2) 电涌保护器的连接

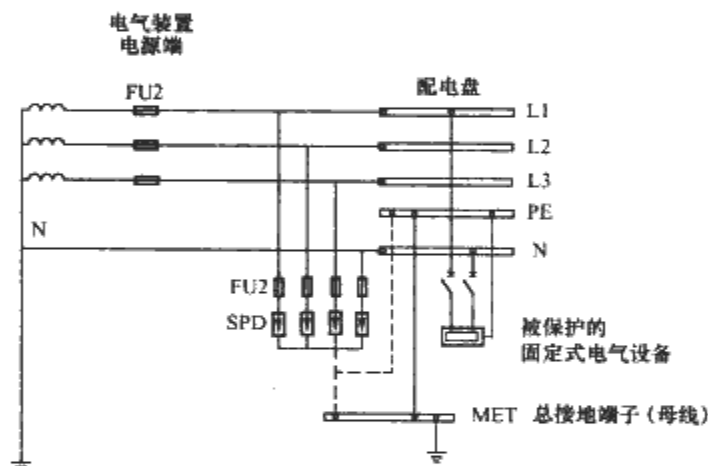
在电气装置的电源进线端或其附近的电涌保护器,常用的接线方式如图 3.5-9~图 3.5-15 所示。



FU1, FU2: 过电流保护电器(熔断器或断路器)  
SPD: 电涌保护器, 电压保护水平不大于2.5kV  
SPD的接地导体取最短的距离 接至PE母线或MET

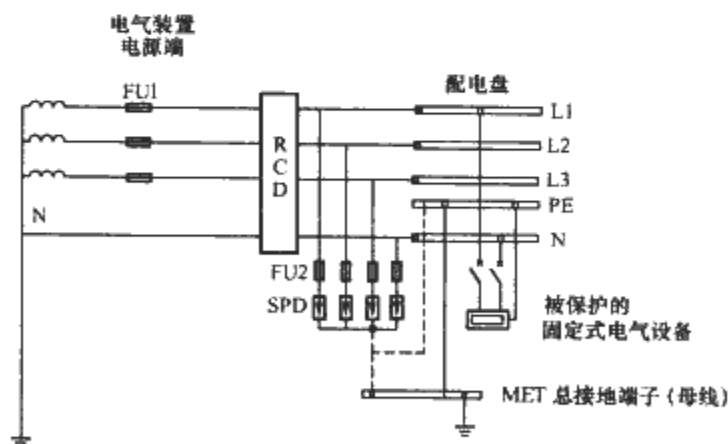
图 3.5-9 TN-C-S 系统的电涌保护器

从 TN-C-S 系统的中性导体和保护导体分开后, 下级配电箱的 TN-S 系统需要增设电涌保护器时, 可采用图 3.5-10 的接线方式。



FU1, FU2: 过电流保护电器(熔断器或断路器)  
SPD: 电涌保护器, 电压保护水平不大于2.5kV  
SPD的接地导体取最短的距离 接至PE母线或MET

图 3.5-10 TN-S 系统的电涌保护器



FU1, FU2: 过电流保护电器(熔断器或断路器)  
SPD: 电涌保护器, 电压保护水平不大于2.5kV  
SPD的接地导体取最短的距离 接至PE母线或MET

图 3.5-11 TT 系统的电涌保护器 (1)

图 3.5-15 中的 SPD I 和 SPD II 可以组合为一套电涌保护器, 有的制造厂家可提供这种电涌保护器, 详见制造厂家

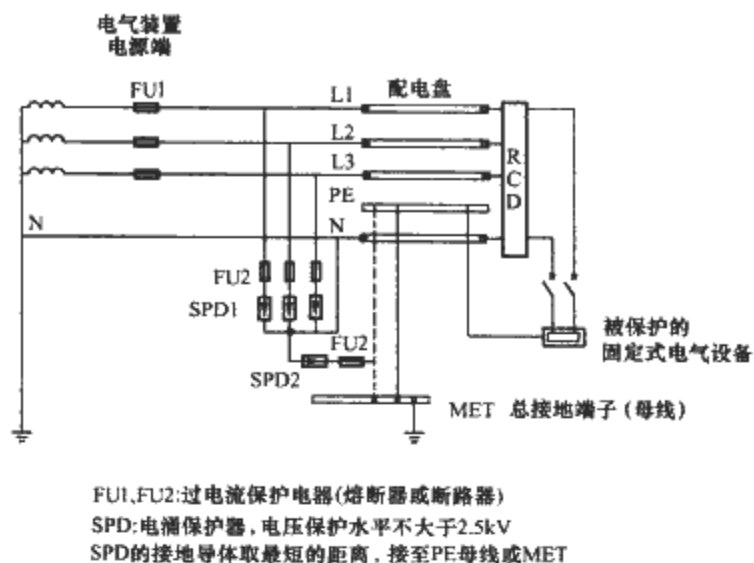


图 3.5-12 TT 系统的电涌保护器 (2)

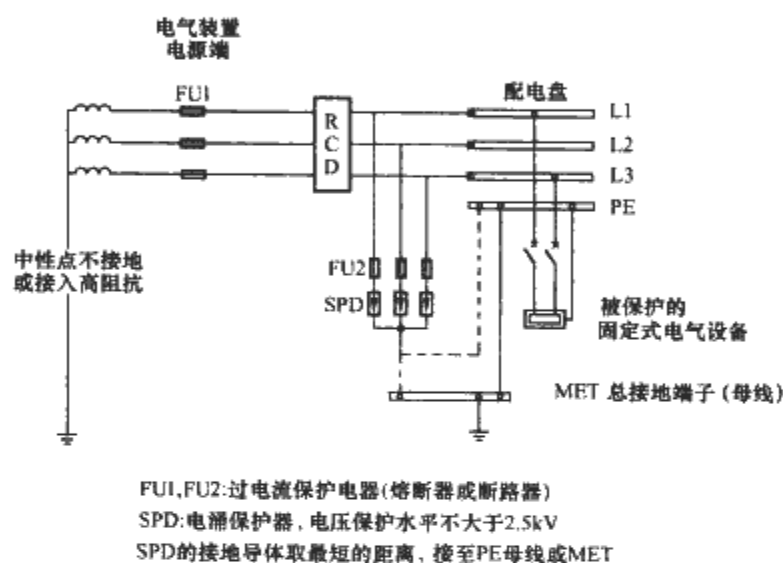


图 3.5-13 IT 系统的电涌保护器 (1)

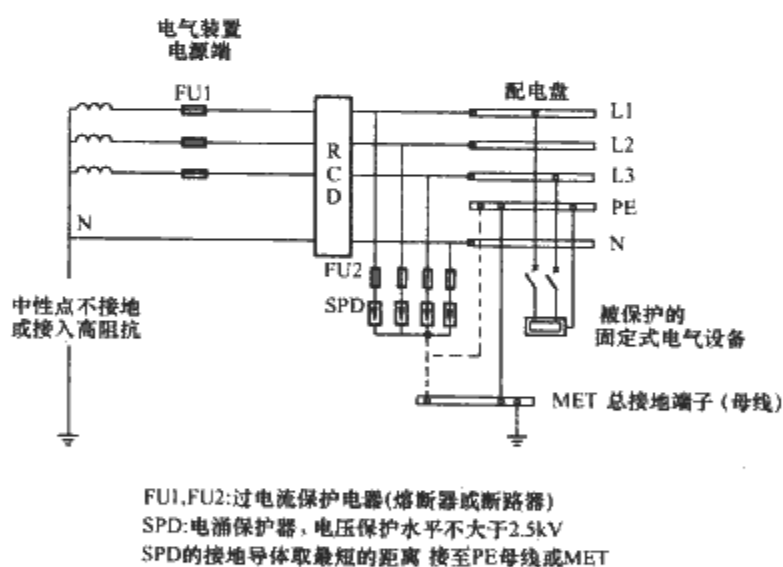


图 3.5-14 IT 系统的电涌保护器 (2)

的产品说明书。

关于各级安装的电涌保护器之间的具体配合要求, 详见国家制订的有关防雷击电磁脉冲方面的规范和标准的规定。去耦元件的选择需与设备制造厂家商定。

## (3) 电涌保护器的选择

1) 电压保护水平 ( $U_p$ ) 的选择。电涌保护器的电压保护水平 ( $U_p$ ) 应符合表 3.5-9 中 II 类耐冲击电压值的规定。例如 230/400V 电气装置的电涌保护器的电压保护水平  $U_p$  应不大于 2.5kV。

电涌保护器的电压保护水平  $U_p$  是限制其接线端子之间电压的性能参数。例如 II 级分类试验的电涌保护器装在电气

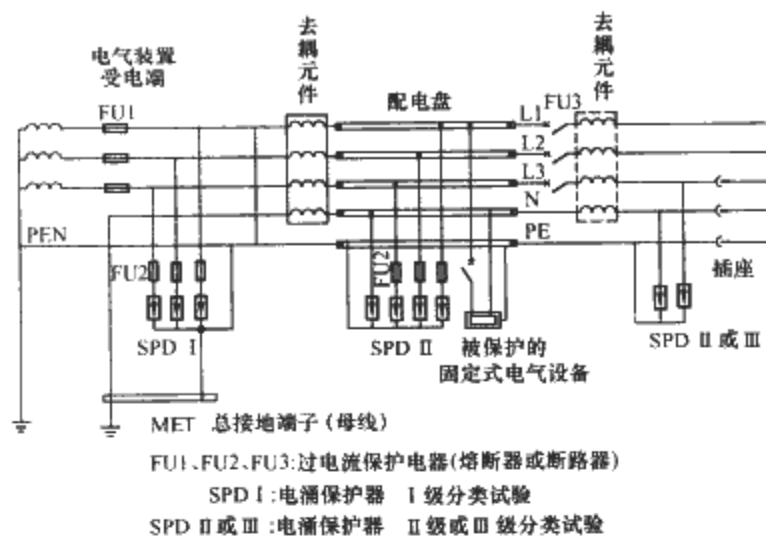


图 3.5-15 I 级、II 级和 III 级电涌保护器的安装

装置电源端的  $U_p$  可选用：2.5kV、2.0kV 和 1.8kV；装在下一级的  $U_p$  为：1.8kV、1.5kV、1.2kV 和 1.0kV。

表 3.5-9 电气设备的额定耐冲击电压值

电气装置 标称电压 (V)	耐冲击电压值 (kV)			
	电气装置电源 端的设备(过 电压类别 IV)	配电设备和 终端回路(过 电压类别 III)	用电器具 (过电压 类别 II)	需特殊保护 的设备(过 电压类别 I)
单相 120~240	4	2.5	1.5	0.8
三相 230/400	6	4	2.5	1.5
三相 400/690	8	6	4	2.5

注 耐冲击电压值是带电导体和保护导体之间施加的电压。

按照耐冲击过电压类别的电气设备示例如下：

I 类：电子设备。

II 类：家用电器。

III 类：配电盘（箱）及其开关设备、母线、电缆、电动机等用电设备。

IV 类：电气装置电源端的保护设备、电气测量表计等。

如果用一套电涌保护器达不到所要求的电压保护水平时，应采用附加的、配合协调的电涌保护器，以确保达到要求的电压保护水平。

2) 最大持续运行电压 ( $U_c$ ) 的选择。

电涌保护器的最大持续运行电压  $U_c$  应不低于表 3.5-10 的值。

表 3.5-10 按电源系统特征确定电涌保护器的  $U_c$  最低电压值

电涌保护 器接于	配电网络的系统特征				
	TT	TN-C	TN-S	引出中性导 体的 IT 系统	不引出中性 导体的 IT 系统
线导体和 中性导体间	$1.1U_0$	—	$1.1U_0$	$1.1U_0$	—
线导体和 保护导体间	$1.1U_0$	—	$1.1U_0$	$\sqrt{3}U_0^\oplus$	线电压 <sup>①</sup>
中性导体和 保护导体间	$U_0^\oplus$	—	$U_0^\oplus$	$U_0^\oplus$	—
线导体和 PEN 导体间	—	$1.1U_0$	—	—	—

注  $U_0$  指低压系统中的相电压。

① 为这些值对应于最严重的故障状况，因而没有考虑 10% 的余量。

我国《建筑物防雷设计规范》(2000 年版)(GB 50057—1994)的规定，对应于表 3.5-10 中的  $1.1U_0$  改为  $1.15U_0$ ；理由是我国有的地方，电网的电压偏移可达 15%。但是，这种电压偏移是不符合标准的，而且对于电气装置的正常运行也是不容许的。

3) 暂时过电压 (TOV) 的选择。电涌保护器应能耐受由于低压系统故障引起的暂时过电压。

暂时过电压是在给定地点的工频振荡过电压，其持续时间相对较长且不衰减或衰减缓慢。

暂时过电压通常起源于开关操作或故障（例如负荷突变、接地故障）和/或来自于非线性（铁磁共振效应、谐波）形成的。

为了在高压系统发生接地故障引起的暂时过电压的情况下可靠工作，接至保护导体的电涌保护器应能通过国家制定的产品标准对电涌保护器的试验要求。

4) 标称放电电流 ( $I_n$ ) 和冲击电流 ( $I_{imp}$ ) 的选择。根据国家制定的产品标准的要求，每一保护模式的电涌保护器，其标称放电电流  $I_n$  应不小于 5kA，8/20 $\mu$ s 波形。

如图 3.5-12 所示接在中性导体和保护导体间的电涌保护器 SPD2，对于三相系统其标称放电电流  $I_n$  应不小于 20kA，8/20 $\mu$ s 波形，对于单相系统  $I_n$  应不小于 10kA，8/20 $\mu$ s 波形。

电涌保护器其雷击冲击电流  $I_{imp}$  的计算和具体要求应根据标准的规定。如果电流值无法确定，则根据标准的规定，每一保护模式的雷击冲击电流  $I_{imp}$  值应不小于 12.5kA。

如图 3.5-12 所示接在中性导体和保护导体间电涌保护器 SPD2 的雷击冲击电流  $I_{imp}$  值，应按类似于上述的标准计算。如果电流值无法确定，则对于三相系统雷击冲击电流  $I_{imp}$  应不小于 50kA，对于单相系统雷击冲击电流  $I_{imp}$  应不小于 25kA。

同时用于直接雷击和间接雷击保护要求安装的电涌保护器，其标称放电电流  $I_n$  和冲击电流  $I_{imp}$  值应按上述要求进行协调。

5) 预期短路电流的选择。电涌保护器和与之相连接的过电流保护器（设置于内部或外部）一起耐受的短路电流（当电涌保护器本身故障），应大于安装处预期的最大短路电流。电涌保护器的额定阻断续流电流值不应小于安装处的预期短路电流值。在 TT 或 TN 系统中，接于中性导体和保护导体之间的电涌保护器（例如火花间隙）动作后流过工频续流，电涌保护器的额定阻断续流电流值应大于或等于 100A。在 IT 系统中，接在中性导体和保护导体之间的电涌保护器的额定阻断续流电流值，与接在线导体和中性导体之间的电涌保护器的额定阻断续流电流值是相同的。

6) 电涌保护器之间的配合。根据用于限制由直接雷击和间接雷击产生的瞬变过电压保护的标准要求，电涌保护器之间应该配合。电涌保护器的制造厂家应提供关于电涌保护器之间配合的资料。

(4) 电涌保护器的过电流保护

防止电涌保护器短路保护是采用过电流保护器 F2（见图 3.5-9~图 3.5-15），应当根据电涌保护器产品技术说明书推荐的过电流保护器的最大额定值选择。在所有情况下，应保证保护电器间的选择性。如果过电流保护器 F1（见图 3.5-9~图 3.5-15）的额定值不大于推荐用的过电流保护器 F2 的最大额定值，则可省去 F2。连接过电流保护器和导体的导线截面，应根据可能的最大短路电流值选择（见图 3.5-9~图 3.5-15 中连接 F1、F2、F3 的导线）。优先保证

供电的连续性还是优先保证过电压保护的连续性,取决于电涌保护器的过电流保护器所安装的位置。

1) 如果过电流保护器安装在电涌保护器分支回路上,则可保证供电的连续性,但再发生过电压时,该电气装置或设备都得不到保护(见图 3.5-16)。这些过电流保护器可以组装于电涌保护器的内部。

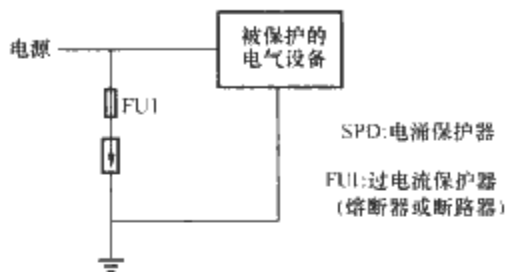


图 3.5-16 优先保证供电的连续性

2) 如果过电流保护器接在电涌保护器分支回路的电气装置前端,则电涌保护器故障时可导致供电中断,要等到更换电涌保护器后才能恢复供电(见图 3.5-17)。

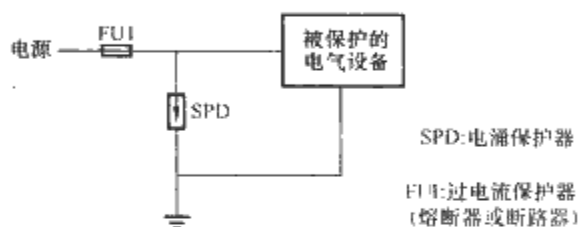


图 3.5-17 优先保证保护连续性

为了提高在同一时间内供电连续性和过电压保护连续性的概率和可靠性,可使用如图 3.5-18 所示的接线方式。

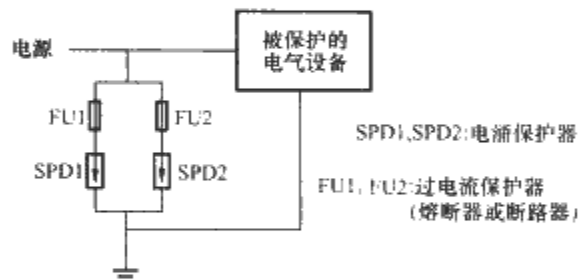


图 3.5-18 兼顾供电连续性和保护连续性

这种做法是将两个相同的电涌保护器分别接到两个不同的过电流保护器。当一个电涌保护器故障时,使其本身的过电流保护器动作,不会影响另一电涌保护器的有效性。这种方式将显著提高供电连续性和保护连续性。电涌保护器的过电流保护器的额定值(整定值)应由制造厂家选定。预期雷电冲击电流通过时过电流保护器不应动作。如果在电气装置的电源进线以及在电涌保护器支线上均安装过电流保护电器,则该过电流保护电器之间应确保具有保护动作的选择性。过电流保护器可采用熔断器或断路器。熔断器的短路分断能力大、体积小、价格较低。

#### (5) 接地故障保护

即使当电涌保护器故障时,所规定的接地故障保护对所保护的电气装置仍应保持有效。当采用自动切断电源的保护措施时:

1) 在 TN 系统中,一般可在电涌保护器的电源侧装设过电流保护器。

2) 在 TT 系统中可采用以下两种方案之一:

① 将电涌保护器安装在剩余电流保护器的负荷侧(见图 3.5-11)。

② 将电涌保护器安装在剩余电流保护器的电源侧(见图 3.5-12)。

3) 在 IT 系统中可采用以下两种方案之一:

① 不配出中性导体的情况下采用如图 3.5-13 所示的接线。

② 配出中性导体的情况下采用图 3.5-14 的接线。

#### (6) 与剩余电流保护器组合的电涌保护器

按照以上 3.4.2 (1) 的要求安装电涌保护器,并且将其安装在剩余电流保护器的负荷侧,此剩余电流保护器可带或不带延时,但应具有不小于 3kA, 8/20 $\mu$ s 电流波形的电涌电流的抗干扰能力。符合国家制定的产品标准的带时限的 S 型剩余电流保护器可满足此要求。在电涌电流大于 3kA, 8/20 $\mu$ s 的情况下,剩余电流保护器可能动作切断电源而导致供电中断。

#### (7) 电涌保护器的状态指示

电涌保护器丧失过电压保护功能时的指示应采用以下方式之一:

1) 电涌保护器状态指示器。

2) 采用 3.4.2 (4) 所述的具有单独保护电器的电涌保护器。

#### (8) 连接导线

连接导线是指线导体与电涌保护器之间的导线以及电涌保护器与总接地端子或保护导体之间的导线。因为增加电涌保护器连接导线的长度会降低电涌保护器过电压保护的效果,所以尽可能减少电涌保护器所连接导线的长度(总引线长度最好不超过 0.5m),并且使其不形成环路即可获得最佳过电压保护效果,如图 3.5-19 所示。如果图 3.5-19 中  $a+b$  的长度不能小于 0.5m,则可采用图 3.5-20 的接线方式。

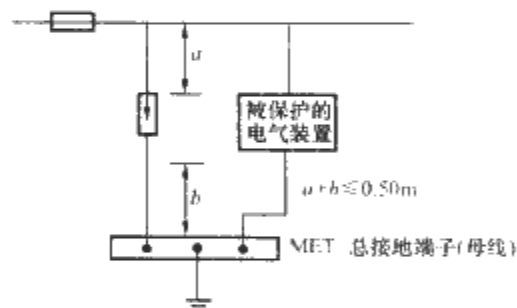


图 3.5-19 电涌保护器的连接线 (1)

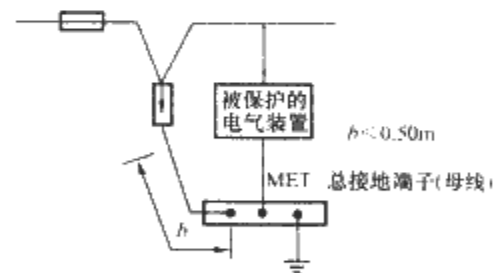


图 3.5-20 电涌保护器的连接线 (2)

如上所述,为了使雷电流通过连接线的电感产生  $Ldi/dt$  的电压降尽可能小,则应按上述要求限制两端连接线的长度。

#### (9) 接地导体的截面

安装在电气装置电源端或靠近电源端的电涌保护器接地导体,其最小截面积应不小于 4mm<sup>2</sup> 的铜线或与其等效。当设有防雷装置时,符合国家制订的产品标准中 I 级分类试验的电涌保护器,其接地导体的最小截面不小于 16mm<sup>2</sup> 的铜线或与其等效是必要的。

#### (10) 屏蔽、接地和等电位联结

正确可靠的屏蔽、接地和等电位联结措施是防雷保护很重要的组成部分,这方面的具体规定详见其他相关的规范和

标准。

### 3.5 欠电压保护电器

欠电压保护电器应符合有关欠电压保护方面的相关规定。欠电压的保护措施可按下列方式选择：

- 1) 直接动作欠电压释放。根据继电器动作电压的上限或下限值、时限整定。
- 2) 间接动作欠电压释放。根据继电器动作电压的上限或下限值、时限整定。
- 3) 电压恢复后采用或不采用重合闸。

为了预防瞬间电源断电后自动恢复供电时不会导致一些用电负荷突然停止运行，其保护电器应装有定时动作的欠电压脱扣器。但是，对于预防断电后自动恢复供电引起旋转电机自启动可能造成人身和设备的危害，则这些用电设备的保护电器应装有失电压脱扣器。

### 3.6 保护电器的配合

#### (1) 总则

保护配合包括串联保护电器的选择性和后备保护。保护电器的分断能力不应小于保护电器安装处的预期最大短路电流，除非有其后备保护（此处的“后备保护”，也有叫做“级联保护”）承担。较低的分断能力是允许的，如果其后备保护电器安装在分断能力较低的保护电器的上级电源侧，并具有所需的分断能力，而且其保护特性配合适当，使上级保护电器允许通过的能量不超过下级保护电器所能承受的，也不会造成损坏。

#### (2) 过电流保护电器之间的选择性

过电流保护电器之间的选择性需要电器制造厂家提供相关电器的特性曲线和串联配合的应用技术资料。保护选择性主要的目的是为了在发生故障时确保上下级保护电器有选择地断开故障点，可以减少由于越级分断所造成的损失，从而达到供电的连续性。保护选择性分为全选择性和部分选择性，如图 3.5-21 所示。

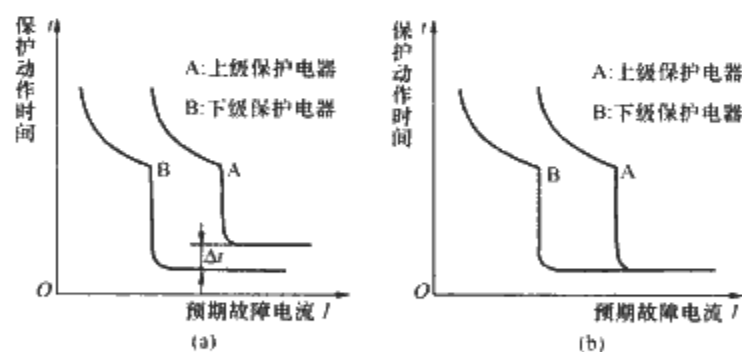


图 3.5-21 保护电器的选择性特性曲线

(a) 全部选择性；(b) 部分选择性

选择性的要求包括上下级保护电器的下列内容：短路保护、过负荷保护、接地故障保护、失压/欠电压保护、变压器高压侧与低压侧的保护的配合。

上下级各种类别的保护电器之间也应考虑选择性配合：断路器与断路器、断路器与熔断器、断路器与剩余电流保护器、熔断器与熔断器、熔断器与剩余电流保护器以及剩余电流保护器之间。

实现上下级保护电器之间的选择性可采用每个保护电器的电流、时间或能量特性或传送故障点状态的智能通讯方式。

靠电流特性的匹配有时只能实现部分选择性，例如配电

变压器低压侧总开关与低压母线出线回路开关的保护配合，当故障发生在出线远处就比较容易获得保护选择性，但是如果故障发生在出线的始端，因为此时流过总开关和该出线开关的故障电流几乎一样大，则难于实现保护选择性。因此，上级开关应采用延时动作以实现全部选择性。

能量特性的配合方式用于短路保护，利用下级保护电器的快速断开和上级具有限流特性的保护电器的电弧能量实现限流和选择性。

智能通信的配合方式如图 3.5-22 所示，下级断路器智能脱扣器在出线发生故障时通过输出信号“O”，传送到上级断路器智能脱扣器的输入信号“1”以识别故障点，从而达到保护选择性。

#### (3) 后备保护

采用后备保护方式，必须由制造厂家提供必要的技术资料作为设计和安装的依据。

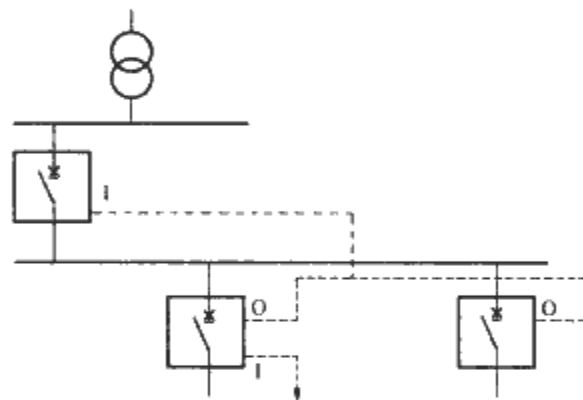


图 3.5-22 采用智能通信方式的保护配合示意

采用后备保护（也有叫做级联保护）的措施，至少上级保护电器是限流型的，限流断路器能抑制通过的短路电流峰值，因而可大大降低下级电器的短路分断、接通、热稳定和动稳定电流，则有条件采用短路分断能力较低的下级保护电器，有其一定的经济意义。

设备制造厂家应提供包括各种断路器不同额定电流的限流特性曲线，作为用户选择的依据，如图 3.5-23 所示。

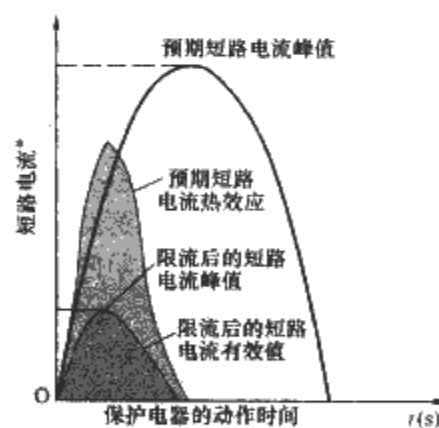


图 3.5-23 短路电流的限流特性

#### (4) 配备过电流保护电器的开关电器

开关电器应能承受过电流的热稳定、动稳定性和接通能力；发生短路故障时则由电源侧的短路保护电器承担分断故障电流。

起动器应与短路保护电器相匹配。例如电动机回路发生短路故障时，该回路的交流接触器应与电源侧短路保护电器的短路分断时间相匹配，接触器不应该先于短路保护电器分断，否则接触器因无短路分断能力而损坏。

### 3.7 隔离和通断

隔离和开关电器的功能见表 3.5-11。

表 3.5-12 隔离和开关电器的功能一览表

电 器	隔 离	紧 急 通 断	功能性 通断
开关	其中：控制回路开关 + 家用非隔离开关 -	其中：家用和类 似用电子开关 +	+ +
接触器	-	其中：家用和类 似用接触器 -	+ +
断路器	有隔离功能的 + 无隔离功能的 -	+ +	+ +
插座和插头 (≤32A)	+	+	+
插座和插头 (≥32A)	+		-
自动转换开关	有隔离功能的 +	-	+
熔断器	+	-	-
半导体器件	-	-	+

注 + 可用；- 不用。

## 3.7.1 总则

1) 每个电气装置应具备切断电源的措施。

2) 在 TN-C 系统的 PEN 导体不应装设隔离或开关电器。在 TN-S 和 TN-C-S 系统不需要隔离或切断中性导体。TN-S 和 TN-C-S 系统采取总等电位联结，在电气装置的中性导体和保护导体开始分开起就连起来接地，则中性导体的电位几乎等于地电位。电气检修时线导体打开了，当中性导体不打开的情况下，人如果接触中性导体就不会发生电击，所以中性导体可以不断开进行隔离。

## 3.7.2 隔离

隔离是为了安全原因，将电气装置的全部或个别的部分从每个供电电源绝对隔开。所谓隔离就是为了预防检修电气装置的人员直接接触带电部分而发生电击事故，所采取的断开电源的措施。

## (1) 总则

1) 除本节 3.7.1 的 2) 所述之外，每个回路应能从每个带电的导体隔离。如果工作条件许可，一组回路可采用一个共用的隔离措施。

2) 为了预防任何设备不小心或无意地通电，应采取包括以下适当的预防措施。

①设备安装在上面或外护物（外壳）内。

②挂锁。

③挂警示牌。

另外采用人工短路和接地可作为辅助预防措施。

3) 当一台设备或外护物（外壳）接到多个电源的带电部分，在该处应有警示牌，使任何人要接触带电部分时需将该部分从不同的电源进行隔离，除非采取闭锁措施以确保所有的相关回路均已隔离。

4) 进行隔离时如果需要应采取适当的储能放电措施。例如断开电容器回路时，在断开电源开关的同时联动接入放电回路。

5) 具体回路的隔离电器远离所隔离的设备时，应采取措施确保隔离电器处于打开状态。如果这种措施是采用上锁或可取出的手柄的方式，在该场所以内其钥匙或手柄应该是不能替换用于其他类似目的和用途。

## (2) 隔离电器

1) 应根据该装置处所用设备对过电压类别的要求，选择合适的隔离电器。过电压类别 II 和 I 的设备不应用作隔离

电器。半导体器件不应用作隔离电器。关于过电压类别的具体内容详见前节过电压保护电器的表 3.5-9。

2) 电器的隔离功能应该看得见或清晰地和可靠地显示出来。

3) 隔离电器应设计和/或安装成能防止无意地闭合。

4) 应采取措施确保防止不允许带负荷操作的隔离电器无意地和未经授权的分断操作。可采取将电器放在上锁的地方或外护物（外壳）内或采取闭锁措施。另一种方案是将不允许带负荷操作的电器与可带负荷分断的电器进行闭锁。

5) 应优先采用一个能分断相关供电电源各极的多极隔离电器，但是不排除采用彼此相近的单极电器。本节 3.7.1 的 2) 所述的除外。

6) 用作隔离的电器的安装位置应清晰地标志或用耐久的标志指明所隔离的电气装置或回路。

## 3.7.3 为了维护机械设备需要分断电源

## (1) 总则

1) 在维护机械设备时可能会发生人身伤害的情况下，应采取分断电源的措施。用电的机械设备包括旋转机械、加热元件和电磁器件。

2) 为了在维护机械设备期间其电气设备无意地通电启动，应采取适当的防止措施。如果通断的措施是在进行该维护工作人员的连续监控之下可以除外。

可采取包括下列的一种或多种预防措施：

①上锁。

②挂警示牌等。

## (2) 维护机械设备用的分断电器

1) 为了维护机械设备断开电源，应优先采用接入供电主回路的分断电器。为此目的所用的开关应能分断电气装置相应部分的满负荷电流，但不需要分断中性导体。

只有采用下列任何一个与直接分断供电主回路的条件等效的措施时，才允许采用分断电气传动设备的控制回路：

①具有辅助安全装置，例如机械限制器。

②符合关于所用控制电器标准的要求。维护机械设备用的分断措施可采用下列电器，例如：

a. 多极开关。

b. 断路器。

c. 控制和保护开关电器。

d. 操作接触器的控制开关。

e. 插座和插头。

2) 用的分断电器或用于这些电器的控制开关应采用手动操作。

分断电器的触点其断开位置，应看得见或清晰地和可靠地显示出来。

所要求的显示功能可采用符号“O”和“I”分别表示断开和闭合位置。

3) 维护机械设备用的分断电器，应设计和/或安装成能防止因不小心或无意闭合。

4) 维护机械设备用的分断电器的安装位置及其标志，应便于使用又容易识别。

## 3.7.4 紧急通断

## (1) 总则

根据负荷的不同特征和要求，紧急通断可以是紧急闭合或紧急分断。

1) 需要控制供电电源以消除意外的险情时，应具备紧急通断电气装置任何部分的措施。



2) 如果会发生电击的危险, 紧急通断电器应采用隔离电器, 并应分断所有带电部分。但本节 3.7.1 的 2) 所述的除外。

3) 紧急通断的措施, 应尽可能直接动作于相应的供电回路。应设法只靠单个动作就分断相应的供电回路。

4) 应设法使紧急通断的动作不会产生更危险的后果, 或对于完全消除险情的动作产生干扰。

#### (2) 紧急通断电器

1) 紧急通断电器应能分断电气装置相关部分的满负荷电流, 必要时要考虑电动机的堵转电流。

2) 紧急通断措施可包括:

① 一个通断电器能直接分断相关的供电回路。

② 通过单个动作的组合设备用于分断相关供电回路。

紧急通断可采用下列方式实现, 例如: 主回路的开关; 控制(辅助)回路的按钮等类似电器。

3) 尽可能选用直接分断主回路的手动通断电器。遥控的断路器、接触器等应动作于释放线圈或采用其他等效的技术措施。

4) 紧急通断的操作机构(手柄、按钮等)应标志清楚, 并优先采用红色和配反差大的背景颜色。

5) 紧急通断电器应安装在有可能发生危险的地方, 并便于操作。必要时在远处可以消除险情的地方另装紧急通断电器。

6) 紧急通断电器动作后应能锁住或限制住在“断”或“停”的位置, 紧急通断和重新通电是由同一个人操作控制的除外。

7) 紧急通断电器的解除不应重新接通电气装置的相关部分。

8) 紧急通断电器的安装位置及其标志应便于使用又容易识别。

#### 3.7.5 功能性通断(控制)

通断是用于接通或分断一个或多个电气回路的电流的一种功能。

控制是一种有意的动作使器具投入运行。

功能性通断可以采用自动器件诸如时钟、调温器、光传感器。

##### (1) 总则

功能性通断电器不需要控制一个回路的所有带电导体。中性导体的通断应符合本章 3.1 的 2) 的要求。

为确保从替换电源进行转换的功能性通断电器, 应动作于所有带电导体并应防止不同的电源并联运行, 除非该装置按并联运行的条件特殊设计的。

此时, PEN 或保护导体不应断开隔离。

如图 3.5-24 中所示, 接自不同电源的双电源切换开关, 应能断开中性导体以免中性导体和保护导体并联产生环流。该环流会导致电磁干扰、接地导体腐蚀或引起易燃易爆物品起火。

图 3.5-24 中的双电源回路即使不装剩余电流保护器, 也不管是变压器、发电机或不同的接地方式切换, 均应采用三相四极开关(见图 3.5-25), 也可共用一个三相四极自动转换开关(ATSE)。

对于多电源的接地以及电源进线和母线联络开关的要求, 详见本篇第 1 章关于多电源 TN 系统的内容。

##### (2) 功能性通断电器

1) 功能性通断电器应适应可能承受最繁重的工作条件。例如用于普通用途的接触器就不适宜用在频繁操作的电动机回路或电容器等回路的。

2) 功能性通断电器可以控制电流而不需要打开其相应的极。例如半导体通断器件能够分断回路的电流, 但是不打

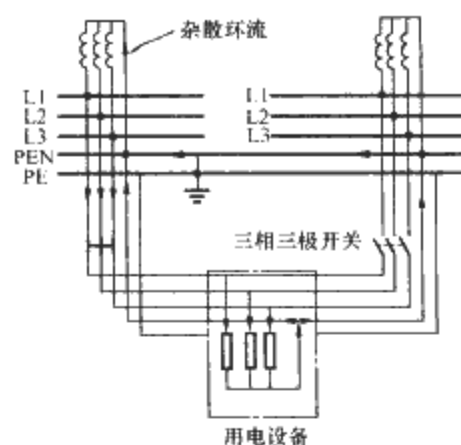


图 3.5-24 双电源切换产生环流示意图

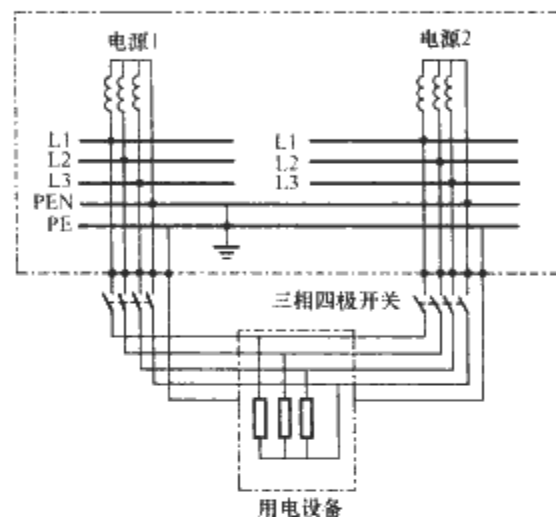


图 3.5-25 双电源切换开关示意

开其相应的极。

3) 功能性通断可采用下列电器来实现, 例如: 开关、半导体通断器件、断路器、控制和保护性通断电器、接触器、继电器、32A 及以下的插座和插头。

4) 熔断器、隔离器和诸如连接片、电器插接件或额定电流大于 32A 的插头类的断开器件不应用于功能性通断。

##### (3) 控制回路(辅助回路)

由于控制回路和其他可导电部分之间发生故障可能引起所控制的器具误动作(例如意外投入运行), 则控制回路的设计、配置及其保护性能应能防止这样的危险后果。

##### (4) 电动机的控制

1) 如果电动机在欠电压或失电压停机后自启动会造成危险, 则电动机的控制回路应设计成能防止这样的自启动。

2) 如果电动机反转会造成危害, 则电动机应采取防止制动终止后反向旋转的防护措施。

3) 如果电动机的安全运行与其旋转方向有关, 应采取措施防止例如由于反相引起的反转。

4) 应注意由于断相引起的危险。

### 3.8 检测电器

#### (1) IT 系统的绝缘检测电器(IMD)

1) 绝缘检测器是用于固定连接在 IT 系统并且连续监测所连接的整个系统的绝缘电阻。

2) 绝缘检测器接在一相和地之间时, 线导体端子和地端子之间至少应耐线电压。地端子应接至电气装置的总接地端子。

3) 绝缘检测器不是用于电击防护。

#### (2) IT 系统的绝缘故障定位设备

为了提高供电的连续性, 带负荷绝缘故障定位设备最好和绝缘检测器配合使用。

#### (3) 回路不在线绝缘检测器



绝缘检测器应用在平时切断所有带电导体、正常不通电的安全设施设备,只有在紧急情况下通电。此时,当安全设施设备通电后绝缘检测器自动断电。

这种绝缘检测器可用于 TN-S、TT 和 IT 系统。

绝缘水平下降时应发出就地声光报警或远方报警。报警阈值宜定为  $300\text{k}\Omega$  以上。

#### (4) 剩余电流检测器 (RCM)

剩余电流检测器不能用作电击防护。

安装在剩余电流保护器之下时,剩余电流检测器的额定剩余动作电流值不应大于剩余电流保护器的额定剩余动作电流值。

#### (5) 谐波畸变的检测

谐波含量的危害见表 3.5-12。用电设备有可能产生较大的高次谐波电流时,可采用能检测电气装置中的电流和电压畸变的仪器。

谐波畸变至少要检测到 15 次谐波。

表 3.5-12 谐波含量的危害

谐波含量	可预见的危害
$\text{THD}_U < 5\%$ 和 $\text{THD}_I < 10\%$	无
$5\% \leq \text{THD}_U < 8\%$ 和 $10\% \leq \text{THD}_I < 50\%$	显著污染,可能造成干扰
$8\% \leq \text{THD}_U$ 和 $50\% \leq \text{THD}_I$	严重污染,预期功能损害
3 次谐波电流幅值 $> 15\%$	不可忽略中性导体流过的电流

注  $\text{THD}_U$  为电压总畸变率;  $\text{THD}_I$  为电流总畸变率。

表 3.5-13 考虑了耐腐蚀和机械强度,埋入土壤中的接地极的最小规格

材料	表面	形状	最小规格			
			直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	厚度 (mm)	镀层或护层的厚度 (μm)
铜	热浸锌 <sup>①</sup> 或不 锈钢 <sup>②</sup>	带状 <sup>③</sup> 或型材 带状或板状		90 (100) <sup>④</sup>	3	63
		垂直接地极用的圆线	16			63
		水平接地极用的圆线	热浸锌: 8 不锈钢: 10			45
		管状	25		2	49
		板状		0.186m <sup>2</sup> <sup>⑤</sup> (0.250) <sup>⑥⑦</sup>	3	45
		绞线		混凝土基础 接地极: 70		
		角钢垂直接地极		50×50×3		
	铜护套	垂直接地极用的圆棒	15			2000
	电浇注 铜镀层	垂直接地极用的圆棒	14			250
		水平接地极用的圆线	8			70
		水平带状		90	3	70
		裸圆状	混凝土基础 接地极: (10) <sup>⑧</sup>			
铜	裸露 <sup>①</sup>	带状		50	2	
		水平接地极用的圆线 <sup>④</sup>		25 <sup>⑥</sup> (50) <sup>⑧</sup>		
		绞线	单根 1.8	25 (50) <sup>⑧</sup>		
		管状	20		2	
		板状		0.186m <sup>2</sup> <sup>⑤</sup> (0.250) <sup>⑥⑦</sup>	1.5 (2) <sup>⑧⑨</sup>	

① 也可用于混凝土中的接地极。

② 不加镀层。

③ 轧制带状或切割圆边带状。

④ 圆边带状。

⑤ 在目前技术条件下,连续浸镀只能镀到 50μm 厚。

⑥ 如果有经验,在腐蚀性和机械损伤风险极低的场所,可采用 16mm<sup>2</sup> 的圆线。

⑦ 表面积取代截面积。

⑧ 适用于防雷和电击防护,其余的只适用于电击防护。

## 4 接地装置、保护导体和等电位联结导体

### 4.1 接地装置

#### 4.1.1 总则

1) 根据电气装置的要求,接地装置可以兼有保护性和功能性两种目的,也可以分别专为保护接地和功能接地为目的而设置。电气装置的外露可导电部分接地是为了防间接接触电击的保护措施,也就是为了电气安全目的的保护接地。为了获得正确的功能要求,有些电子设备的电源的一极接地以取得接近地电位的基准电压(参考电位)。这种不是为了安全为目的的接地称为功能接地。低压供电系统的电源中性点接地且引出 PEN 导体或保护(PE)导体和中性(N)导体,这种接地既有为了电气安全的目的,又有实现电气功能的目的。

2) 电气装置内设置接地极时,应将该接地极用接地导体连接到该电气装置的总接地端子上。建筑物电气装置应尽可能合理利用钢筋混凝土基础作为接地极,这些基础接地极通过地梁的钢筋连接,然后再连接至总接地端子,参见图 3.5-26。关于总接地端子的说明见本章 4.1.4。

#### 4.1.2 接地极

1) 接地极的材料和规格,应耐腐蚀又具有足够的机械强度。从耐腐蚀和机械强度考虑,埋入土壤中的接地极的最小规格见表 3.5-13。

《建筑物防雷设计规范》[GB 50057—1994 (2000)]规定：扁钢和角钢接地极的厚度应不小于4mm；钢管壁厚应不小于2.5mm。表3.5-13中相应的要求与该《建筑物防雷设计规范》[GB 50057—1994 (2000)]的要求低一些，但明确规定应采用热浸镀锌钢材或不锈钢，其耐腐蚀性能较强。

《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997)规定的地下扁钢接地极最小截面积为48mm<sup>2</sup>，比表3.5-13相对应的规定小得多。

2) 接地极的有效性取决于当地的土壤条件。应根据土壤条件和所要求的接地电阻值，选用一个或多个接地极。

3) 可用作接地极的举例如下：

- ① 埋入地基的金属结构（基础接地）。
- ② 板、管、棒、带或线状的金属物体。
- ③ 埋在地下混凝土中的钢筋（预应力钢筋混凝土除外）。

④ 根据当地条件或要求，可采用的电缆金属护套和其他金属护层。

⑤ 根据当地条件或要求，可采用的其他适用的地下金属结构。

上述金属构件有些是属于所谓“自然接地体”的一部分，但并不是任何所谓“自然接地体”均可利用作为接地装置。

值得注意的是利用埋入地下混凝土中的钢筋作为接地导体时，从入地起该钢筋接地导体应连续置入混凝土里，如果有一段经过土壤的连接线，则通过不同介质就会产生电解作用，从而容易被腐蚀掉。

所谓预应力钢筋是施工时将钢筋固定在混凝土结构的一端，然后施加很大的拉力再固定在混凝土结构的另一端，使钢筋本身承受超常的应力，很大的电流流过该钢筋时就会直接影响钢筋的应力特性，导致损害结构应有的强度。因此，预应力钢筋混凝土不允许用作接地极。

只有在得到电缆所有者的同意，且电缆的金属外护层有足够的耐腐蚀性能，并在定下协议后，打算对电缆做可能影响其作为接地极的变动时，应预先通知电气装置用户的情况下，才可利用电缆的金属外护层作为接地极。

只有在得到供水部门的同意，并定下协议以后打算变动水管时应预先通知电气装置用户的情况下，才可利用金属水管作为接地极。目前有不少国家不允许采用水管作为接地极。

4) 选择接地极的类型和确定埋地的深度时，应考虑到以下因素：

- ① 遭遇机械损害的可能性。
- ② 当地的条件和相关规定，要求在土壤干燥和冻结的情况下，接地极的接地电阻不会增加到影响电击防护的功效。接地极的接地电阻值与土壤电阻率密切相关，而土壤的干燥程度（在不同季节的土壤所含的水分）以及土壤的冻结情况对土壤电阻率有较大的影响（冻结程度愈严重，接地电阻增值愈大）。

此外，还要注意接地极的埋设深度所处的土壤电阻率可能不一样。

5) 应考虑在接地装置中采用不同材料的接地体时会产生电解腐蚀问题。

不同材料或所处不同介质的接地极，因其电动势不同会产生电解作用就容易腐蚀（见表3.5-14）。

表 3.5-14 不同接地极材料合适的连接方式

小面积材料	大面积材料				
	镀锌钢	钢	混凝土中的钢	混凝土中的镀锌钢	铜
镀锌钢	+	+	—	+	—
钢	+	+	—	+	—
混凝土中的钢	+	+	+	+	+
铜包钢	+	+	+	+	+
铜	+	+	+	+	+

- 注 1. +连接良好；—严禁相连。
2. 未注明敷设方式者均在土壤中。
3. 两种面积比值愈小，腐蚀愈快。接地极腐蚀后其接地电阻增大。
4. 表中为德国标准 DIN VDE 0151，根据 IEC/TC64 标准的文件提出：混凝土内钢筋的电动势相当于土壤中铜的电动势。表中的连接方式反映电动势的差异会产生电解现象。
5. 大面积/小面积大于或等于100:1。

6) 严禁输送可燃液体或气体的金属管道用作接地极。但这种管道可作保护等电位联结。如果此类管道用作接地极，当发生接地故障时会有大的接地电流通过该管道就会引燃。但是在此类管道进入建筑物后尽可能短的距离内插入绝缘段使之与室外地下部分绝缘，再并联放电间隙后即可做保护等电位联结，就不会发生危险。

#### 4.1.3 接地导体

1) 埋入土壤里的接地导体，其截面应按表3.5-15的规定。

在TN系统中，若预期通过接地极的故障电流不明显，则接地导体的截面可按本章4.3.1的规定。在TN系统中发生低压接地故障时，接地故障电流基本上通过导体和保护导体构成闭合回路，而通过总接地端子、附加接地（重复接地）经大地到电源中性点接地极回路的接地电流在正常情况下极小，原因是前者的保护导体的阻抗远远小于后者的接地极阻抗。但是，若高低压系统共用接地极，当高压系统发生接地时流经共用接地极就有相当数量的接地电流。

表 3.5-15 埋在土壤中的接地导体的最小截面积

保护分类	有防机械损伤保护	无防机械损伤保护
有耐腐蚀保护	铜：2.5mm <sup>2</sup>	铜：16mm <sup>2</sup>
	铁：10mm <sup>2</sup>	铁：16mm <sup>2</sup>
无耐腐蚀保护	铜：25mm <sup>2</sup> 铁：50mm <sup>2</sup>	

2) 接地导体与接地极的连接应牢固，且有良好的导电性能。这种连接应采用铝热焊、压接器、夹具或其他机械连接器件。若采用夹具，则不得损伤接地极或接地导体。仅靠锡焊连接的连接件或固定件，不能可靠地提供足够的机械强度。

#### 4.1.4 总接地端子

1) 采用保护等电位联结的每个电气装置中都应配置有总接地端子，并应将下列导体与其连接：

- ① 保护等电位联结导体。
- ② 接地导体。
- ③ 保护导体。
- ④ 功能性接地导体（如果有）。

当保护导体已通过其他保护导体与总接地端子连接时，则不需要把每根保护导体直接接到总接地端子上。

建筑物的总接地端子，通常可用于功能接地的目的。用

于信息技术设备时，该总接地端子是作为接至接地极的连接点。

一个电气装置的高低压系统、信息技术设备的保护接地和功能接地、防雷装置的接地（有爆炸危险的一类防雷建筑按有关规范处理），以及保护总等电位联结导体，都连接到

该电气装置设置的总接地端子，电气装置共用的接地极也连接至该端子。总接地端子一般可设在配电室内支撑在靠近地面墙上采用裸露的铜母线，每个接头应牢固、接触良好、又可拆卸便于单独测试。总接地端子的配置示意如图 3.5-26 和图 3.5-27 所示。

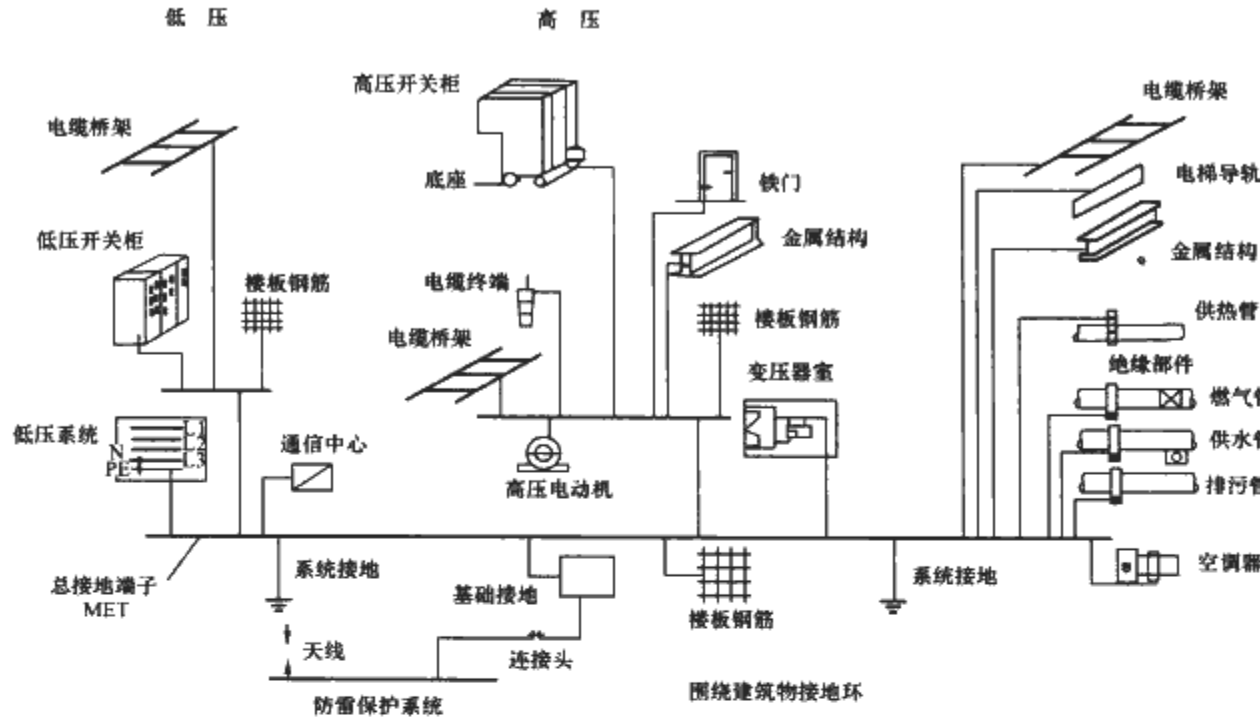


图 3.5-26 总接地端子 MET 示意图

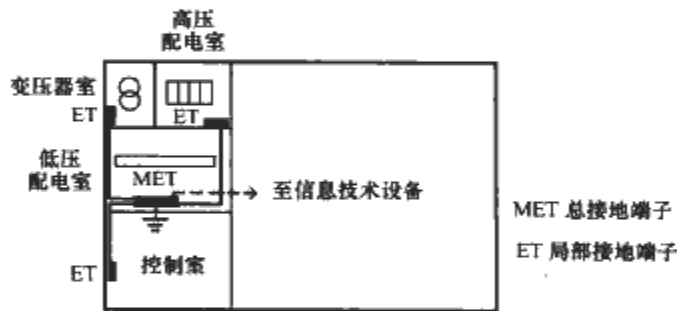


图 3.5-27 总接地端子 MET 平面布置示意图

对于具有高低压和信息技术系统的电气装置，不能仅靠专为低压系统总等电位联结端子（MET）或按照以前惯用的在变配电室内墙边敷设扁钢接地干线，由该接地干线用保护接地导体连接变配电室内的电气设备的金属外壳或底座以及围绕建筑物的接地网。这种接地方式不完善，因为不管系统容量的大小，仅靠截面较小的扁钢是难以满足保护导体和总等电位联结母线的热稳定截面的要求和信息技术设备的保护等电位的要求，另外也不符合便于单独测试每个接地导体和等电位联结导体的有效性。

2) 接到总接地端子上的每根导体，应能被单独地拆开。这种连接应当牢固可靠，而且只有用工具才能拆开。

4.2 保护导体

4.2.1 最小截面积

1) 每根保护导体的截面应满足接地故障保护自动切断电源所要求的条件，而且能承受预期的故障电流。保护导体的截面可按本节第 2) 条的公式计算，也可按表 3.5-16 选定。这两种方法均应考虑本节 4.2.1 第 3) 条的要求。

低压开关柜产品标准规定，开关柜内 PEN 母线的截面：当线导体截面积大于 400mm<sup>2</sup> 且小于 800mm<sup>2</sup> 时，PEN 导体最小为 200mm<sup>2</sup>。

当线导体大于 800mm<sup>2</sup> 时，PEN 导体最小为线导体的 25%。

表 3.5-16 保护导体的最小截面积

线导体截面积 S (mm <sup>2</sup> )	相应保护导体的最小截面积 (mm <sup>2</sup> )
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

但是，上述规定是产品标准提出的，实际工程中关于 PEN 的选用尚需进行短路热稳定和动稳定的校验。

2) 保护导体的截面应按下列公式进行热稳定校验

$$S \geq \sqrt{I^2 t} / k$$

式中，S 为截面积，mm<sup>2</sup>；I 为通过保护电器的故障电流方均根值，A；t 为自动切断电源保护电器的动作时间（t ≤ 5s），s；k 为由保护导体、绝缘和其他部分的材料以及初始和最终温度决定的系数（k 值见表 3.5-17～表 3.5-21）。

上式中需考虑回路阻抗的限流影响和保护电器的 I<sup>2</sup>t 的限值。

符合标准的矿物绝缘电缆的金属护套承受接地故障的能力大于线导体承受接地故障电流的能力。这种金属护套用作保护导体时，不必计算其截面积。

3) 不包含在电缆本身的或不与线导体共处于同一外护物（例如导管）内的每根保护导体，其截面积应不小于：

- ①有防机械损伤保护时，铜：2.5mm<sup>2</sup>；铝：16mm<sup>2</sup>。
- ②没有防机械损伤保护时，铜：4mm<sup>2</sup>；铝：16mm<sup>2</sup>。

4) 多个回路共用一个保护导体时，其截面应按如下要求来确定：

①对于这些回路中遭受最严重的预期故障电流和动作时间，其截面积按上面 1) 计算。

②对应于回路中的最大线导体截面积按表 3.5-16 选定保护导体的截面积。

表 3.5-17 非电缆芯线且不与其他电缆成束敷设的  
绝缘保护导体的  $k$  值

导体绝缘	温 度 (°C)		导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
			$k$ 值		
70°C、90°C PVC ( $\leq 300\text{mm}^2$ )	30	160/140*	143/133*	95/88*	52/49*
90°C 热固性材料	30	250	176	116	64

\* 其中的低值用于截面积大于  $300\text{mm}^2$  的 PVC 绝缘导线。

表 3.5-18 与电缆外护层接触（但不与电缆捆绑）的  
裸保护导体的  $k$  值

电缆护层	温 度 (°C)		导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
			$k$ 值		
PVC	30	200	159	105	58
聚乙烯	30	150	138	91	50

表 3.5-19 属于电缆芯线或与其他电缆或绝缘导体  
成束敷设的保护导体的  $k$  值

导体绝缘	温 度 (°C)		导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
			$k$ 值		
70°C PVC ( $\leq 300\text{mm}^2$ )	70	160/140*	115/103*	76/68*	42/37*
90°C PVC ( $\leq 300\text{mm}^2$ )	90	160/140*	100/66*	66/57*	36/31*
90°C 热固性材料	90	250	143	94	52

\* 其中的低值用于截面积大于  $300\text{mm}^2$  的 PVC 绝缘导线。

表 3.5-20 用电线的金属外护层，如铠装、金属护套、  
同心导体等作保护导体的  $k$  值

电缆绝缘	温 度 (°C)		导体材料			
	初始	最终	铜	铝	铅	钢
			$k$ 值			
70°C PVC	60	200	141	93	26	51
90°C PVC	80	200	128	85	23	46
90°C 热固性材料	80	200	128	85	23	46

表 3.5-21 裸导体的  $k$  值，该裸导体在下列  
所示温度下不损伤相邻材料

条 件	初始 温度 (°C)	导体材料					
		铜		铝		钢	
		$k$ 值	最高 温度 (°C)	$k$ 值	最高 温度 (°C)	$k$ 值	最高 温度 (°C)
可见的和在狭窄 的区域内	30	228	500	125	300	82	500
正常条件	30	159	200	105	200	58	200
有火灾危险	30	138	150	91	150	50	150

#### 4.2.2 保护导体的类型

1) 保护导体可由下列一种或多种导体组成。

①多芯电缆中的导体。

②与带电导体共用外护物的绝缘导体或裸导体。

③固定安装的裸导体或绝缘导体。

④符合下面 2) 的①和②规定条件的电缆金属护套、电缆屏蔽层、电缆铠装、同心导体、金属导管等。

2) 如果电气装置中包含有金属外护物的设备，例如低压开关柜、控制盘柜或母线槽，若其金属外护物或框架同时满足以下三项要求，则可用作保护导体：

①应利用其结构或良好的连接，以保证其机械、化学或电化学损伤的防护性能，确保其电气的连续性。

②应符合 4.2.1 款的要求。

③应在每个预定的分接点上，便于与其他保护导体连接。

3) 下列金属部件不允许用作保护导体或保护等电位联结导体：

①金属水管。

②含有可燃性气体或液体的金属管道。

③正常使用中承受机械应力的结构部分。

④柔性或可弯曲的金属导管。

⑤柔性金属部件。

⑥支撑线索。

我国现行规范没有规定不允许采用水管作为保护导体。考虑到水管的维修、改造等情况不好掌握，接头的质量不好控制，因此目前绝大多数国家不允许采用水管作为保护导体。个别国家规定如果水表两端用符合保护导体所要求的截面的跨接线可靠连接，才允许利用水管作为保护导体。

利用金属制的电缆拖盘、梯架作为保护导体时应确保连接处的电气连续性和符合要求的电导，接头必须牢固，整个拖盘和梯架必须有良好的防腐蚀措施。

特别要注意的是，标准规定不允许利用在正常使用中承受机械应力的金属构件，这是因为这种金属构件受力后会变形甚至断裂，难于保证作为保护导体的可靠性。因此，承受机械应力的混凝土结构的钢筋不用作保护导体和保护等电位联结导体。

#### 4.2.3 保护导体的电气连续性

1) 保护导体对机械的、化学的或电化学的损伤以及对电动力和热动力的作用应具有适当的防护性能。

2) 保护导体的接头应便于检查和测试，但下列接头除外：

①有复合填充物的接头。

②封装的接头。

③在金属导管内和电缆槽内的接头。

④符合产品标准并已成为设备的组成部分的接头。

3) 保护导体不应插入开关器件。但为了便于测试，可设置只能用工具拆开的接头。

4) 采用电气检测接地状态时，不应将专用器件（如动作传感器、线圈）与保护导体串联。

5) 器具的外露可导电部分不应用于构成其他设备保护导体的一部分，但本章 4.2.2 的 2) 规定的除外。

#### 4.2.4 PEN 导体

1) 只能在固定安装的电气装置中采用 PEN 导体；而且，考虑到机械强度的原因，其截面积应不小于：铜  $10\text{mm}^2$  或铝  $16\text{mm}^2$ 。

我国有些现行规范和标准关于 PEN 导体最小截面积的规定不统一（有的规定采用多芯电缆的芯线作为 PEN 干线，其最小截面积应不小于  $4\text{mm}^2$ ）。为此，应考虑规范、标准

的一致性和安全可靠性。

2) PEN 导体的绝缘水平应按可能遭受的最高电压确定。从变压器低压侧中性点引出的 PEN 导体,按照过去的设计一般不采取绝缘措施,而直接敷设在金属支架或墙上,这是不符合本条的规定。

3) 如果从电气装置的任意一点起,中性导体和保护导体分别采用单独的导体,则不允许将该中性导体再连接到电气装置的任何其他的接地部分。关于多电源 TN 系统的 PEN (N) 导体只应在用户主配电柜(箱)内一点接地的规定,就是遵循以上的原则。

以图 3.5-28 为例进行分析。

从图 3.5-28 可知:若将左右 TN-C-S 系统分别作为独立的单电源供电,要在用户端实现前部 TN-C 系统,后部 TN-S 系统是完全没有问题的。但是,若将左右两个 TN-C-S 系统的低压母线经过分段开关(常开)联络后,N 与 PE 导体在左边分开后又在右边连接起来,实际上在用户端就形成 TN-C 系统。显然是因为违背了上面 3) 的规定造成的。由于 N 与 PE 导体并联,PE 导体平时通过电流,产生电位差。为了解决这个存在的问题,应遵守第 1 章关于多电源 TN 系统的规定,如图 3.5-29 所示。

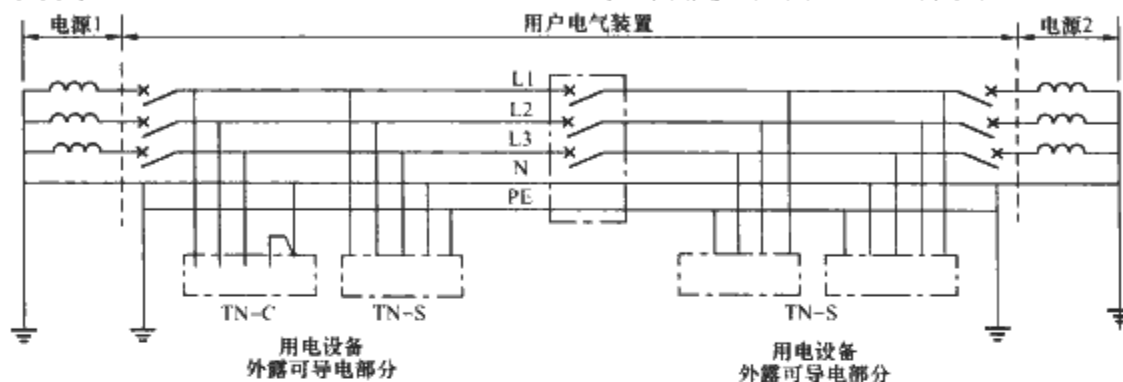


图 3.5-28 多电源 TN-C-S 系统（不正确）

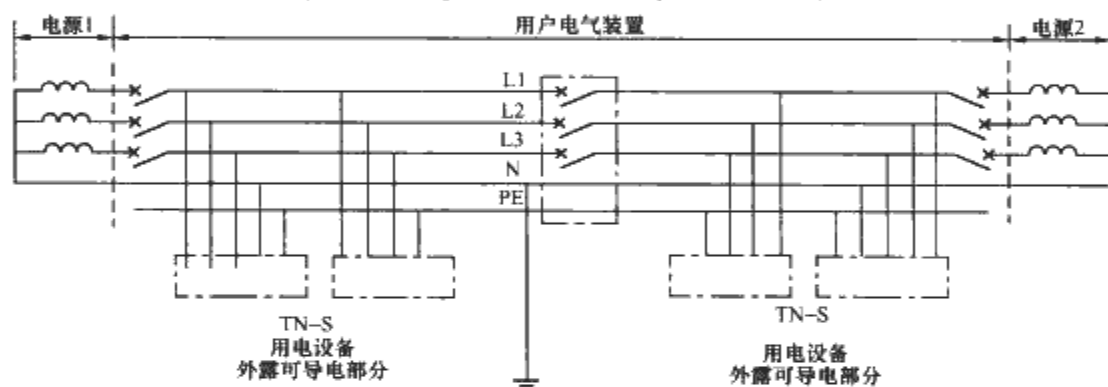


图 3.5-29 多电源 TN-C-S 系统（正确）

图中所有配电回路应是 TN-S 系统。如果有一部分采用 TN-C 系统,在用电设备处 N 导体接金属外壳接地,结果变为 N 母线多点接地,不符合上述要求。

4) 我国有些现行规范规定某些外界可导电部分可用作保护导体,而且也不规定外界可导电部分不允许用作 PEN 导体。PEN 导体在正常情况下有电流通过,为了防电击、防火和抗电磁干扰等电气安全的目的,外界可导电部分不应用作 PEN 导体。

5) 变压器 PEN 导体的连接方式。

图 5-30 (a) 中变压器的高压侧绕组接地时,故障电流流入接地电阻。当低压侧绕组接地时,故障电流基本上通过变压器外壳回到中性点。

图 5-30 (b) 中变压器引出的 PEN 导体在中性点侧不接地。因此,当变压器的高压侧绕组接地时,接地故障电流只能通过变压器接到总接地端子的保护导体入地。高压绕组接地故障电流取决于高压系统的接地方式,是中性点绝缘还是经过电阻接地,其接地故障电流的大小差别很大。如果变压器的低压绕组接地,接地故障电流只能通过变压器接到总接地端子的保护导体再流经低压开关柜的 PEN 导体回到变压器的中性点,只有极少量的接地电流流入接地电阻。变压器低压绕组接地,其故障电流相当于变压器低压侧出口全部的接地故障电流。

上述故障均依靠高压侧的保护电器动作切断电源。该保护导体和接地导体流过的接地故障电流有的可能大到几万安培,因此必须要进行热稳定性校验。

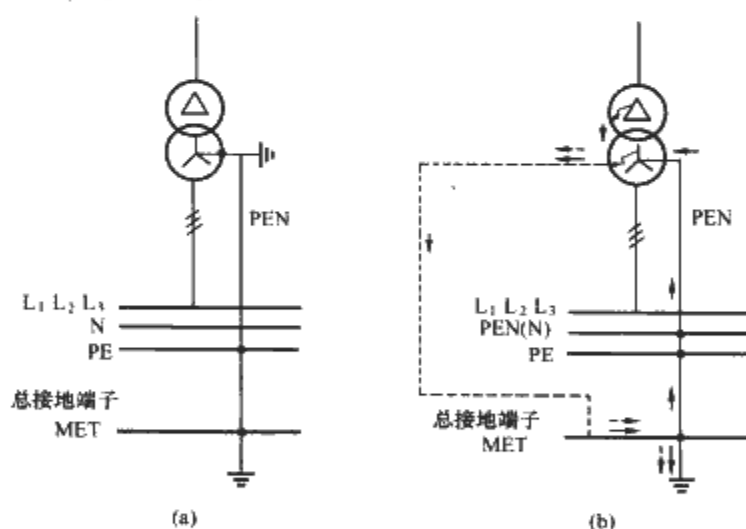


图 3.5-30 变压器 PEN 导体的连接方式  
(a) 变压器中性点侧接地（用于单电源 TN 系统）；  
(b) 变压器中性点侧不接地（用于多电源 TN 系统）

#### 4.2.5 兼做保护和功能接地

1) 采用兼做保护和功能接地导体时,应满足有关保护导体的要求以及符合相关的功能要求。信息技术设备的 PEL 或 PEM 导体,也可兼做功能接地和保护导体(见图 3.5-31)。

2) 外界可导电部分不应用作 PEL 和 PEM 导体。

#### 4.2.6 保护导体的敷设

接地故障保护采用过电流保护电器时,应将保护导体紧靠带电导体敷设。



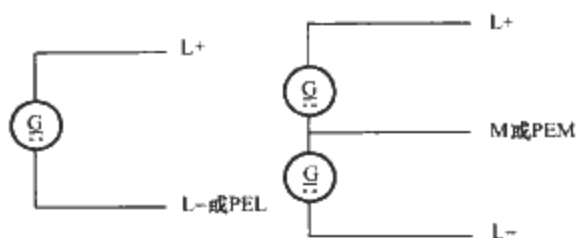


图 3.5-31 PEL 和 PEM 简图

采用过电流保护电器作为接地故障保护措施，其切断电源的动作电流与故障回路的阻抗值有关，该阻抗包括线导体和保护导体的阻抗，而电感则包括自感和互感；线导体和保护导体愈靠近，其互感愈小（线路的互感与线导体和保护导体之间的距离除以线径之比值成正比），有利于保护的灵敏度。因此，过去利用敷设在墙上低部或位于线导体下相当距离的保护导体的做法是不可取的。

#### 4.2.7 加强型保护导体

固定安装的用电设备其保护导体的电流超过 10mA 时，应按下述要求设置加强型保护导体：

1) 保护导体应采用截面积至少为 10mm<sup>2</sup> 的铜导体或 16mm<sup>2</sup> 的铝导体。

2) 两根至少与用作接地故障保护所要求的截面相同的保护导体。用电器具的第二根保护导体要设置单独的接线端子。

用电设备正常情况下的保护导体电流很大时，可能不适宜采用剩余电流保护器。TN-C 系统的 PEN 导体中的保护导体电流，可视为负荷电流。

### 4.3 保护等电位联结导体（保护联结导体）

#### 4.3.1 接到总接地端子的保护等电位联结导体

接到总接地端子的作为总等电位联结的保护等电位联结导体，其截面积应不小于：

- 1) 铜：6mm<sup>2</sup>。
- 2) 铝：16mm<sup>2</sup>。
- 3) 钢：50mm<sup>2</sup>。

以上是根据《接地配置、保护导体和保护联结导体》（GB 16895.3—2004）（等同于 IEC 60364-5-54：2002）的规定。然而 GB 16895.3—1997（等同于 IEC 60364-5-54：1980）以及 IEC 60364-5-54 最新的修改草案还另加规定，总等电位联结导体的截面积不应小于装置内最大保护导体截面的一半，但不需要大于：铜 25mm<sup>2</sup>，或其他材料与其等效的截面积。

#### 4.3.2 辅助等电位联结用的保护等电位联结导体

1) 联结两个电气设备外露可导电部分的保护等电位联结导体，其电导应不小于接到该外露可导电部分较小的保护导体的电导。保护等电位联结导体和相关设备所用的保护导体可以采用不同的材质，因此规定其电导的要求。

2) 联结外露可导电部分和外界可导电部分的保护等电位联结导体，其电导应不小于连接该外露可导电部分相应的保护导体二分之一截面积所具有的电导。

3) 应符合本章 4.2.1 中的 3) 的要求。

如图 3.5-32 所示，凡是电气设备的 PE 母线与总接地装置（MET）之间的连接均为保护（PE）导体，而不是等电位联结导体。

## 5 低压发电设备

### 5.1 总则

1) 发电设备的励磁和换相方式应适合于其应用的要求，

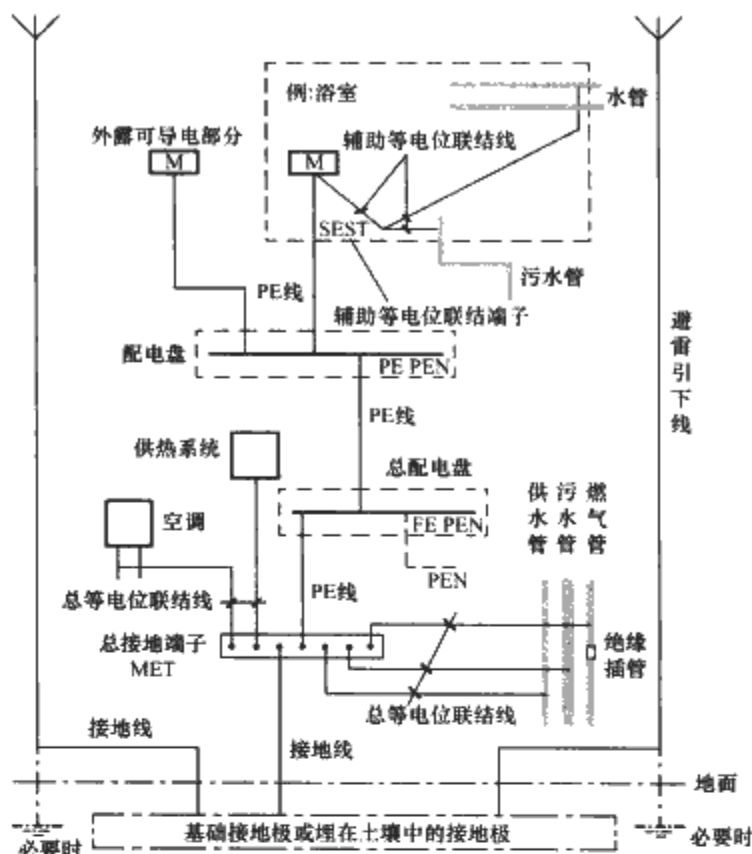


图 3.5-32 基础接地极、保护导体和保护等电位联结导体的接地配置例图

而且不应使其他的供电电源的安全和正常功能受到损害。例如采用静止励磁和换相方式产生的谐波、涌流、过电压等效应对其他电源和设备无害。

2) 对于能独立于其他电源而运行的每个供电电源，应计算出相关的预期短路电流和接地故障电流。包括可能接入公用电网各种预期的电源运行方式的短路电流，不应超过电气装置内相关电器耐受短路电流的能力（额定值）。

实质上，就是每个电源（发电设备）在独立运行和各种并联运行的情况下，其电器应确保设备既能承受最大的故障电流，又能保证在出现最小故障电流时保护电器的保护灵敏度和可靠动作。

3) 要求发电设备的容量和运行特性，在接通或断开任何负荷时，所引起电压或频率偏差不应造成设备的危害。发电设备过负荷时，根据需要应配备自动切除一部分负荷的保护措施。为了避免发电设备过负荷，必要时可安装按频率自动减负荷或预先按设定的顺序自动切断特定回路的保护措施。

4) 要考虑各单个负荷在发电设备中所占的比例大小以及电动机的起动电流。换言之，应考虑由发电设备供电的功率相对较大的单台或成组电动机，直接起动时的冲击和电压波动对发电设备正常运行的影响。

### 5.2 接地故障保护

1) 作为公用电网替代（备用）电源的发电设备，其接地故障自动切断电源保护不应依赖于与公用电网接地点的连接，而应自设适当的接地极。发电设备自设接地装置是为了与公用电网解列运行时有自己独立可靠的接地系统。

2) 当电气装置中由静止型逆变器供电的部分的接地故障保护是依靠逆变器旁路开关的自动合闸来实现，并且旁路开关电源侧的保护电器又不能在标准所要求的时间以内动作时，在逆变器负荷侧可同时触及的外露可导电部分和外界可导电部分之间，应按标准的规定设置辅助等电位联结。

在同时可触及的可导电部分之间所要求的辅助等电位联结导体的电阻值应满足下列条件

$$R \leq 50/I_a$$

式中,  $I_a$  为 5s 内只从静止逆变器输出的最大接地故障电流。

3) 应采取预防措施或选择设备时应使静止逆变器所产生的直流电流或滤波器的存在不影响保护电器的正确动作。例如采用剩余电流保护器时, 应选用适用于含平稳直流分量的保护特性的 B 型剩余电流保护器。

4) 在静止逆变器的电源侧和负荷侧应装设隔离电器。

5) 当发电设备和其他一部分配电回路都装在剩余电流保护器的负荷侧, 该剩余电流保护器动作时应切断线导体和中性导体。因为发电设备可能通过中性导体向接地故障点继续供电, 导致发电设备本身的保护电器动作。

### 5.3 过电流保护

1) 发电设备的过电流保护装置, 应尽可能装在靠近发电设备的出线端子。

2) 发电设备并列运行时, 应将谐波电流限制到不使导体发热量超过其额定值。可用下列措施来限制谐波电流的影响:

- ① 选用具有补偿绕组的发电机。
- ② 在发电设备的星形中性点上接入适当的阻抗; 但要考虑到为限制谐波而接入阻抗的两端可能产生的最高电压。
- ③ 装设滤波设备。
- ④ 其他适当的措施。

发电设备向大量非线性负荷供电时所产生的三次及 3 的倍数次谐波分量叠加流经中性导体, 因此中性导体的载流量必须考虑此因素。

### 5.4 发电设备作为公用电网替代电源 (备用系统)

1) 应采取包括下列措施使发电设备不能与公用电网并列运行:

- ① 在转换开关的操作机构之间或转换开关的控制回路之间进行电气、机械或电气—机械闭锁。
- ② 用单个可传用钥匙的多锁系统。
- ③ 采用具有“先断后合”功能的 3 个操作位置的转换开关。
- ④ 具有适当联锁功能的自动转换开关。
- ⑤ 其他等效的安全操作措施。

为了避免发电设备与公用电网并列运行, 其中一种办法就是采用“先断后合”的 3 个操作位置的转换开关。

2) 在 TN-S 系统的中性导体未隔离的情况下, 确定剩余电流保护器的安装位置时, 应避免由于中性导体与地的并联通路的存在而引起剩余电流保护器误动作。

采用如图 3.5-33 所示的接线时, RCD 就会误动作 (因为每个电源系统的中性导体未装隔离电器); 如果采用图 3.5-34 的接线时, RCD 就不会误动作。

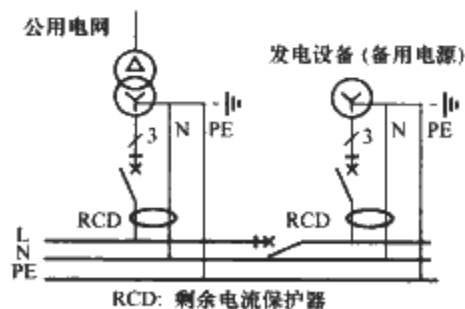
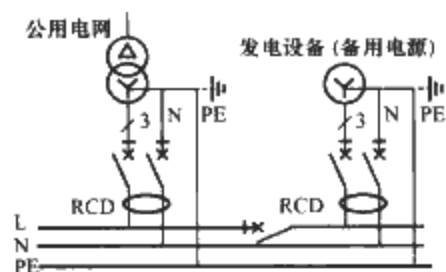


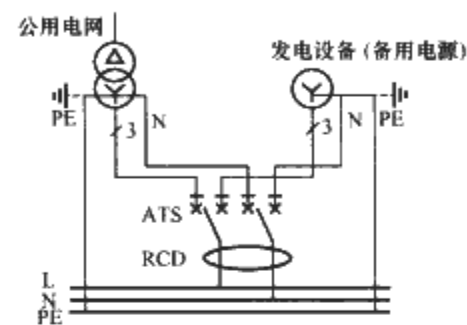
图 3.5-33 采用三相三极开关

上述接线适用于发电设备作为公用电网的替代电源运行。

如果是用户内部的发电设备和用户内自己的配电变压器或另外的发电设备互为替代或并列运行, 可采用各电源的中



(a)



ATS: 自动转换开关

(b)

图 3.5-34 采用三相四极开关

(a) 接线 1; (b) 接线 2

性点不单独接地, 而只在受电母线端一点接地的 TN-C 系统, 则电源进线可采用三相三极开关。此时, 所有的低压馈电回路只允许采用 TN-S 系统。如果用电设备采用双电源切换, 双回路电源不论装不装剩余电流保护器, 均应采用三相四极切换开关如图 3.5-35 所示。

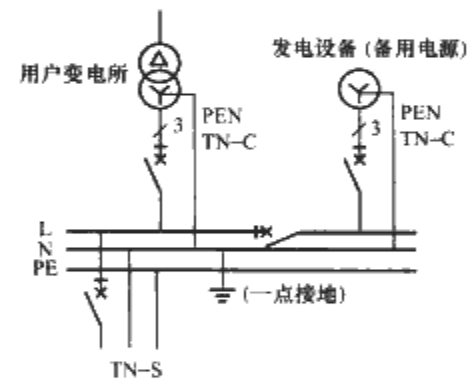


图 3.5-35 采用一点接地的 TN 系统

在 TN 系统中, 可将电气装置的中性导体与来自公用电网的中性导体隔离, 以避免电气维修期间雷击浪涌过电压的危害。

### 5.5 发电设备可能与公用电网并列运行

1) 与公用电网并列运行的发电设备的选择和使用, 应注意避免由于功率因数、电压变化、谐波畸变、三相不平衡、启动、并列操作或电压波动对供电网络和其他电气装置的不利影响。有关的特殊要求应与供电部门商定。当需要并列操作时, 宜优先采用考虑到频率、相位和电压的自动同步系统。

2) 当公用电网发生断电事故或在供电端的电压或频率的偏差超出正常供电的允许值时, 应配备将发电设备与公用电网解列的保护措施。保护的型式、灵敏度和动作时间与公用电系统的保护有关, 并取得供电部门的同意。发电设备在异常情况下要解除与公用电网并列运行, 可采用按频率和电压自动解列装置。有静止型变换器的情况下, 应在变换器的负荷侧断开。

3) 当公用电网断电或在电源端的电压和频率的波动偏

离正常供电所要求的限值时,应有防止发电设备接入公用电网的措施。为了防止发电机组在不同步的情况下与公用电网投入并列运行,应装设自动检查同步装置。

4) 应有使发电设备从公用电网隔离的措施。通常可采用发电设备与公用电网接入点的具有隔离功能的断路器或隔离开关作为隔离电器。

以上关于电击防护、电气设备的选择和安装的规定,是针对发电设备的特殊情况所做的补充要求,其他的一般要求应遵循有关规定。

## 6 安全设施

### 6.1 内容概述

1) 安全设施是用于:①保护人身的安全和健康;②避免对环境或其他设备的损坏;③应急照明和疏散照明;④消防泵;⑤消防电梯;⑥报警系统:火灾、有害气体、入侵等报警;⑦重要的医疗设施等。

2) 安全设施供电系统的分类。供电电源的投入方式分为:①手动投入;②自动投入。

电源自动投入运行,按最长的切换电源时间分类:①基本无断电时间;②很短时间断电:0.15s以内;③短时间断电:0.15~0.5s;④不太长时间断电:15s以内;⑤较长时间断电:15s以上。

### 6.2 总则

1) 需要在火灾的情况下安全运行的设备,应满足以下两个条件:

①安全设施选用的应急供电电源应能维持足够的时间供电。

②采用的设备应具有足够时间的耐火性能。

2) 安全设施的设备和线路发生第一次接地故障时,宜首选采取不自动切断电源,例如采用IT系统就可满足此要求,通过采用绝缘的连续监测作为发生第一次接地故障的声光报警。

### 6.3 安全设施的电源

1) 正常工作电源发生故障时,不应造成对安全设施的应急供电电源产生有害影响。

2) 安全设施的应急供电电源设备应标志清楚,并设在合适的位置,而且只允许受过培训或熟练的人员操作和维护。

3) 接自公用电网两个独立的供电回路,应由供电部门保证该两个回路不会同时断电,才允许用做安全设施的供电电源。

4) 安全设施的供电电源可同时向非属安全设施的设备供电,但在非属安全设施的供电回路上发生故障时,不应导致安全设施的任何回路断电。为此,通常需要对非属安全设施的采取自动减负荷措施,以及确保保护电器之间的保护选择性。

自动减负荷通常可预先设定,在安全设施的应急供电电源投入运行时将非属安全设施的一些设备自动切除。

5) 对于不能并联运行的安全设施电源的特殊要求:

①应采取预防措施避免电源之间并联,例如采取机械连锁措施。

②每个电源应确保具有短路保护和防电击保护措施。

6) 对于能并联运行的安全设施电源的特殊要求:

①用户自备发电设备拟接入公用电网并联运行之前,应取得供电当局的认可。并联运行时可能需要采取特定的保护和检测措施,以防止出现逆功率等问题。

②并联的每个电源其短路保护和电击防护,应确保能适应由两个电源同时供电和两个电源分别单独供电的情况。

③要注意限制连接电源的中性点之间可能产生的环流,尤其是三次谐波的效应。

7) 集中功率供电电源应采用有通风设施或阀控型、设计为重任务工业用的蓄电池。在20℃时的最短设计寿命为10年。

8) 小功率供电电源的输出功率限为500W,持续时间3h;或1500W,持续时间1h。可以采用密封或阀控免维护型、设计为重任务工业用的蓄电池。在20℃时的设计寿命为5年。

9) 不间断供电电源(UPS)。采用UPS供电系统,应满足上述集中功率供电电源的有关要求。UPS供电回路的保护电器应与UPS的特性配合好。

目前国内的一种蓄电池—逆变器统称EPS。本来EPS是“应急供电系统”的英文缩写,实际上应急供电系统(应急电源系统),包括公用电网的独立电源、自备发电设备、蓄电池、静态UPS以及带飞轮的电动发电机组等。

### 6.4 安全设施的回路

1) 安全设施的回路应独立于其他回路。即一个系统发生故障、改造或变动,都不影响其他系统的正常功能。为此,可采用阻燃材料进行分隔,或采用不同的敷设路径或安装在不同的外护物内。

2) 除非采用耐火或阻燃材料,安全设施的回路不应穿过有火灾危险的场所。但在任何情况下安全设施的回路不应穿过有爆炸危险的场所。

3) 如果采用过负荷保护动作后切断电源将对人身或财产造成更大的危害,则可不装设过负荷保护电器,但需要装设能监测和发出过负荷信号的器件。

4) 过电流保护电器的选用,应能避免一个回路过电流时影响其他安全设施回路的正常运行。

5) 由两个独立的回路供电的设备,当一个回路发生故障时不影响其他回路的电击防护功能及其正常运行。必要时该设备应接到两个回路的保护导体。

6) 不是采用金属屏蔽耐火电缆的安全设施回路,包括安全设施回路之间以及与其他回路的电缆应相隔足够的距离或用遮拦隔开。

7) 安全设施的回路中除了消防电梯的电气线路以外,其他的电缆不应安装在电梯井或烟气类通道内。

8) 开关设备和控制设备应有明晰的标志,并成组安装在只有受过培训或熟练的人员才可接近的地方。

### 6.5 电气线路

1) 要求在火灾情况下运行的安全设施应采用下列电气线路:

①符合国家制定的产品标准的矿物绝缘电缆。

②符合国家制定的产品标准的耐火绝缘电缆。

③采用的电气线路及其附件应具有耐火和防机械损伤的保护性能。

2) 关于蓄电池用的电缆,需要有特殊的要求。

### 6.6 应急照明

1) 应急照明系统可以采用上述集中功率供电系统,或

自带电池的应急照明灯供电。应急照明采用集中功率供电系统的电气线路，应能在火灾的情况下维持足够的连续供电时间。

2) 穿过不同防火分区时应采用高耐火性能的电缆。

3) 在防火分区内的照明，其供电电缆应具有高的耐火性能，或在防火分区内应装有接到至少由两个电气分隔回路交替供电的多盏应急灯，当其中一个回路断电时，疏散通道仍能保持所需的照度。

4) 如果由电气分隔回路交替供电的照明采用非高耐火性能的电缆，当一个回路短路时其过电流保护电器动作的情况下，在同一个防火分区内相邻的照明回路或其他防火区照明的供电均不受影响。

从任何装有过电流保护电器的终端回路供电的照明灯，其数量不应超过 20 盏，总的负荷电流为 6 A。

5) 应急照明可采用常亮或不常亮模式，也可以两种方式混合应用。公共场所应采用常亮模式的疏散照明指示灯。

6) 采用不常亮应急照明方式的场所，应在该区的配电

盘上监视正常照明的供电状况。如果该区的整个正常照明故障或断电，则应投入应急照明。

7) 采用常亮和不常亮的混合模式时，每种模式应有各自的监测器可以分别操作。

8) 正常照明的控制母线系统发生故障时，不应影响安全设施的功能。

9) 当供电电压降至其额定电压的 60% 时，至少应在 0.5s 从正常照明模式自动转换到应急照明模式。当供电电压恢复到额定电压的 85% 以上时，应恢复到原来的运行模式。

10) 应急照明系统采用的灯应适应电源的切换时间，以实现达到所规定的照度。

11) 应急照明设备应有明显的标志，其控制开关的安装应便于操作，但应装在不可能被非专职人员操作的指定位置。

12) 表 3.5-22 应急照明的各种技术要求（录自 IEC 标准修改草案），仅供参考。

表 3.5-22 应急照明的各种技术要求

场 所	要 求										
	最低照度 (lx)	最长切换 时间 (s)	额定维持 供电时间 (h)	常亮疏散 信号灯	集中功率 供电系统	小功率功 率供电系 统	自带电池 应急灯	电动发电 机单元 (不断电 0s)	电动发电 机单元 (短时断电 ≤0.5s)	电动发电 机单元 (不太长 时间断电 ≤15s)	双回路 供电系统
装配场所	1	1	3	×	×	×	×	×	×		
展览馆	1	1	3	×	×	×	×	×	×		
影剧院	1	1	3	×	×	×	×	×	×		
运动场所	15	1	3	×	×	×	×	×	×		
商场	1	1	3	×	×	×	×	×	×		
餐馆	1	1	3	×	×	×	×	×	×		
宾馆	1	15*	3	×	×	×	×	×	×		
高层建筑	1	15*	3	×	×	×	×	×	×		
学校	1	15*	3	×	×	×	×	×	×		
室内停车场	1	15	1	×	×	×	×	×	×		
疏散通道	1	15	1	—	×	×	×	×	×	×	×
高风险区域	**		*****	—	×	×	×	×	×		×
舞台	3	1	3	×	×	×	×	×	×		

\* 恐慌疏散：1s；不恐慌疏散：<15s。  
\*\* 10% 的照明要求的最低照度：15lx。  
\*\*\* 按用途要求在 0.5s 以内提供长久照明。  
\*\*\*\* 根据对人的风险确定维持供电时间。

6.7 防火

1) 火灾探测器和消防供电电源的线路应接自主电源的单独回路。

2) 防火用安全设施宜采用“首选”的供电回路，直接接到如图 3.5-36 所示的主配电盘隔离开关电器的电源端：

3) 报警装置应有明显的标志。

4) 表 3.5-23 防火系统的最低要求（录自 IEC《安全设施》标准修改草案），仅供参考。

6.8 保护措施、设备和线路的选择，发电机以及接地等方面的基本要求

有关电击、过电流、过电压、欠电压、电磁干扰、热效应等保护措施、设备和线路的选择、发电机以及接地等方面的基本要求，详见《建筑物电气装置》(GB 16895)系列标准的有关规定。

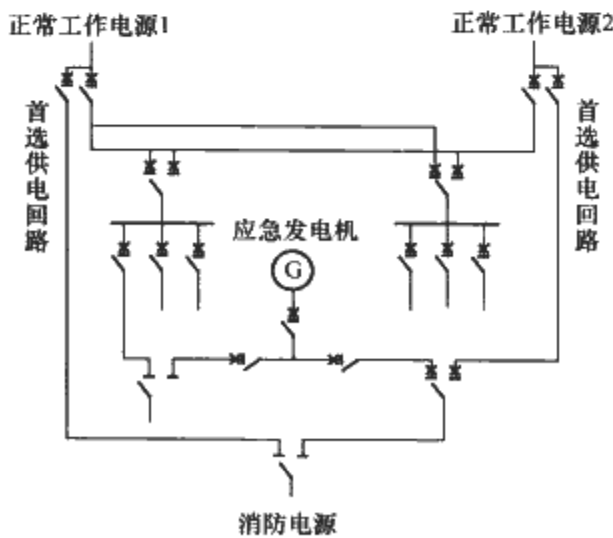


图 3.5-36 “首选”供电回路示意图

表 3.5-23 防火系统的最低要求

安全设施设备示例	要 求									
	电源的额定 维持供电 时间 (h)	电源的最 长切换时 间 (s)	集中功率 供电系统	小功率供 电系统	设备配套 电池单元	电动发电 机单元 (不断电 0s)	电动发电 机单元 (短时断电 <0.5s)	电动发电 机单元 (不太长时 断电<15s)	双回路供 电系统	电源故障 的监视和 切换
消防泵	12	15				×	×	×	×	×
消防电梯	8	15				×	×	×	×	×
有特殊要求的电梯	3	15				×	×	×	×	×
报警和告示器	3	15	×	×		×	×	×	×	××)
排烟和排热设备	3	15	×	×	×	×	×	×	×	××)
一氧化碳警示设备	1	15	×	×	×	×	×	×	×	××)

注 电动发电机单元：包括带和不带飞轮的内燃发电机组也可在小于 15s 投入运行。

× 适用。

××) 仅用于无单独的安全供电系统。

(黄妙庆)

## 第4篇 建筑中压配电系统工程

主 编：李道本

编写人员：姚家祯 王素英 张艺滨





# 第1章 概述

## (1) 建筑工程中压配电系统的范围及特点

建筑是指供人们进行生产、生活的房屋或场所,分为民用和工业建筑。建筑中压配电系统是指向民用和工业建筑供电的用户终端配变电所、用户中压开关站及配电系统,直接作为电力系统的用户单位,为该工程的中压变电设备、电动机等中压用电设备供电。

建筑工程中采用中压供电的用户面很宽,包括公共建筑、办公楼、商用楼、公寓楼、住宅、工业建筑等。用电设备的设备容量从100kW、变压器容量从50kVA以上至设备容量数万千瓦及变压器容量数万千伏安。

建筑工程的用户终端配、变电所电源进线是根据用户用电负荷对供电可靠性的要求及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度的分级、电力系统的供电环境及自备发电设备确定。建筑工程用户用电涵盖了全部负荷的分级。

建筑工程的中压配电系统根据用电负荷级别采用树干式配电、放射式配电和环式配电。

建筑工程的用户终端配变电所的电能计量原则上采用高供高计,有的地方也要求高供低计。

民用建筑工程中,合理用地使配变电所有相当大比例设在地下层、避难楼层及设备楼层。

民用建筑工程中,适应防火需要大量采用干式变压器、真空断路器、难燃性电容器、环氧树脂全密封浇铸的电压互感器、环氧树脂浇铸的电流互感器等不带可燃性油的中压配变电设备。

建筑工程的中压配电装置大量采用由开关及操动机构、继电保护、测量、信号、网络通信装置等组成的户内型中压成套开关设备(高压开关柜)。民用建筑工程中,高压环网开关设备(环网柜)的应用占有相当大比例。建筑工程中,预装式变电站得到广泛应用。

建筑工程的配电自动化系统功能有的由BAS(建筑设备监控系统)系统来完成,有的配电自动化系统作为BAS系统的子系统;有的配电自动化系统作为独立系统仅与BAS系统有信息通信;有的配电自动化系统为独立系统。

## (2) 建筑工程中压配电系统按电压等级分类概况

建筑工程中压配电系统的配电电压等级须从用电容量、用电设备特性、供电距离、供电线路的回路数、用户的远景规划、当地电力系统的供电环境和发展规划以及经济合理等因素综合考虑决定。根据公共建筑、办公楼、商用楼、公寓楼、住宅及一般工业建筑等特点,中压配电系统的电源电压等级主要为35kV、10kV。内部中压配电电源电压等级主要为10kV。

## (3) 建筑工程中压配电系统继电保护的现状

因为用户用电容量、用电负荷的分级、用户的经济实力及用户的要求不同,所以建筑工程中压配电系统继电保护的做法也不同。1250kVA及以下的配电变压器仅在高压侧设熔断器的继电保护,因简单、投资小,在民用等用电负荷的供电系统中得到普遍应用。目前采用机电型继电保护在应用

中仍占有一定的比例。随着计算机及微处理器在继电保护中的应用及配电自动化的飞速发展,微机型继电保护在大型工业、民用建筑中应用很普遍。

## (4) 建筑工程中压配电系统配电自动化的内容

建筑工程中压配电系统的配电自动化包括配电自动化系统的配电主站实时功能、管理功能的确定;配电子站的数据采集、控制、数据传输、维护、故障处理、通信监视等功能的确定;配电远方终端的数据采集、控制、数据传输、维护、其他功能、当地功能等功能的确定,配电自动化系统的搭建及配置,配电自动化系统通信的通信介质、通信规约、接口的确定及配置等内容。

## (5) 建筑工程中压配电装置的概况

空气绝缘方式布置更加合理,结构更加紧凑和小型化。安全可靠是建筑工程的中压配电装置的发展趋势之一。中压配电装置应用传感技术、数字技术、智能化监控,使集中控制、继电保护制成机电一体化的产品日益增多。配电装置从整体手车式的10kV及以下的产品因检修和互换较麻烦,已逐渐被淘汰,中置式、下置式和双层布置的10kV配电装置逐步取代整体手车式的10kV配电装置。目前,建筑工程中对供电要求不太高的用户,固定式的高压开关柜和环网开关柜占有很大比例。35kV配电装置建筑工程中采用35kV高压开关柜占主导地位,采用35kV高压电器在户内或户外构造的35kV配电系统已很少采用。

## (6) 建筑工程中压配电所(站)的基本型式

35/10kV变电所型式分为全户外型、全户内型及半户内型。

全户外型的主变压器、35kV配电装置及主变压器户外布置。

全户内型的主变压器、35kV配电装置及主变压器户内布置,一般为双层布置,变压器室设在底层。采用单层布置,主变压器半露天安装。

半户内型又分为两种,一种是35kV配电装置及主变压器户外布置,10kV配电装置户内布置;一种是仅主变压器为户外布置,35kV配电装置及10kV配电装置户内布置。

10kV开关所(站)的型式一般为全户内型,采用单层布置。建筑工程中当10kV开关所(站)和10/0.4kV变电站建在一起时,也可双层布置。

预装式变电站因其体积小、占地少、施工快、可靠性高、方便接近负荷中心、缩短低压供电半径、采用10kV等级电压向预装式变电站供电减少线损和有色金属用量等优点,广泛应用于高层建筑、住宅小区等场合。

## (7) 建筑工程中压配电系统通信的现状

建筑工程中压配电系统的通信随着配电自动化的发展,数字式保护装置、数显变送智能表计与站控层;站控层与管理层等通过通信总线通信。35kV无人值班变电所当电力系统管理时,与电调设有通信通道。目前,建筑工程中压配电系统的通信主要还是通过内部调度电话或市话通信。

## 第2章 建筑工程中压配电系统的构成

### 1 常用的典型中压配电系统主接线

#### 1.1 35kV 配电系统主接线

##### 1.1.1 35kV 单电源进线单母线接线

一路 35kV 电源进线单母线接线供电系统概略图，如图 4.2-1 所示。

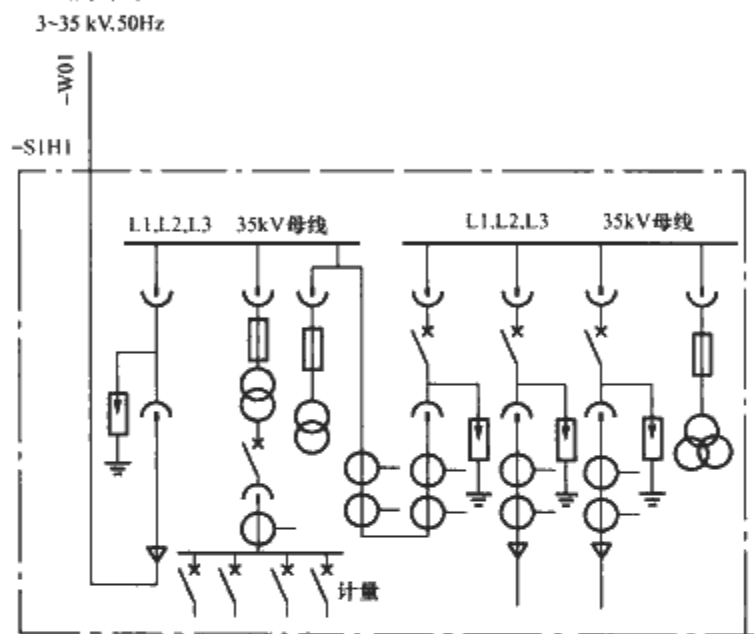


图 4.2-1 一路 35kV 电源进线单母线接线供电系统概略图

该供电系统概略图配电装置有一路 35kV 电源进线，设置 35/0.4kV 所用变压器，35kV 用电电能计量为高供高计，35kV 母线设带有剩余电压绕组的母线电压互感器，两个主变压器出线间隔，选用有两个二次绕组的电流互感器，35kV 开关、设备、继电保护、表计等组装在移开式金属封闭开关柜为成套装置。

35kV 开关柜采用固定式金属封闭开关柜，可按图 4.2-1 所示的主接线，将固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。35kV 进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

所用变压器可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的取舍。35kV 变电所设有低压配电变压器或从

35kV 变电所外可取得可靠的所用电电源、采用蓄电池的直流操作电源系统或 UPS 供电的交流操作电源系统，用户 35kV 变电所中可不设专用所用变压器。

图 4.2-1 馈电间隔可根据工程需要增减。当需从 35kV 变电所引出 35kV 电源可改为 35kV 馈电间隔，根据配电变压器的数量增加变压器出线间隔。

主变压器、进线采用纵联差动保护，电流互感器为有 3 个二次绕组的电流互感器。

当 35kV 电源架空线路系干线式供电，即非专线供电，该供电系统适用于三级负荷的供电；当 35kV 电源架空或电缆进线为放射式专线供电，该供电系统适用于二级负荷的供电。

##### 1.1.2 二路 35kV 进线电源

###### (1) 内桥接线

二路 35kV 电源进线内桥接线供电系统概略图如图 4.2-2 所示。

该供电系统概略图配电装置有二路 35kV 电源进线，每段电源均设置 35/0.4kV 所用变，所用变压器二次设有接触器作为开关电器的双电源切换装置。二路 35kV 电源电能计量为高供高计；35kV 每段母线设带有剩余电压绕组的母线电压互感器；每段 35kV 母线有一个主变压器出线间隔（共两个主变压器出线间隔）；选用有两个二次绕组的电流互感器；两个 35kV 电源均设有电源监视电压互感器，可设置备用电源自动投入装置；35kV 开关、设备、继电保护、自动投入装置、表计等组装在移开式金属封闭开关柜为成套装置。

35kV 开关柜采用固定式金属封闭开关柜，可按图 4.2-2 所示主接线，将固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。35kV 进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

所用变压器可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的取舍。35kV 变电所一般设置两台所用变压器如图 4.2-2 所示，35kV 一段电源设一台所用变压器，在 10kV 另一段电源设一台所用变压器的做法也较普遍。因能从 35kV 变电所外可取得可靠的所用电备用电源，35kV 变电所可在 35kV 某段电源设一台所用变压器。当 35kV 变电所设有低压配电变压器或从 35kV 变电所外可取得可靠的所用电电源，且采用蓄电池的直流操作电源系统或 UPS 供电的交流

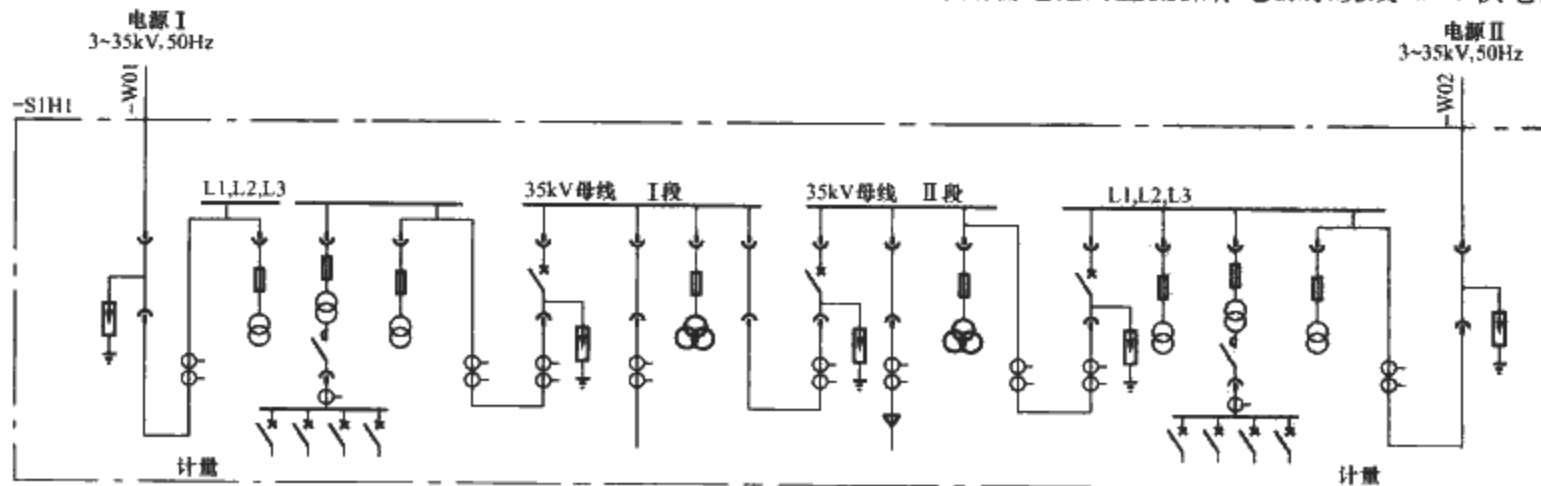


图 4.2-2 二路 35kV 电源进线内桥接线供电系统概略图

流操作电源系统, 有用户 35kV 变电所中不设所用变压器的工程实例。

主变压器、进线采用纵联差动保护, 电流互感器为有 3 个二次绕组的电流互感器。

35kV 变电所当 35kV 电源架空线路系干线式供电, 即非专线供电时, 其供电系统适用于对二级负荷的供电。当 35kV 电源架空线路或电力电缆为放射式专线供电, 该供电系统适用于对一级负荷的供电。

#### (2) 外桥接线

二路 35kV 电源进线外桥接线供电系统概略图, 如图 4.2-3 所示。

该供电系统概略图配电装置有二路 35kV 电源进线, 每段电源均设置 35/0.4kV 所用变压器, 所用变压器二次侧设有接触器作为开关电器的双电源切换装置, 二路 35kV 电源电能计量为高供高计。35kV 每段母线为单母线接线, 设带有剩余电压绕组的母线电压互感器, 每段 35kV 母线有一个主变压器出线间隔 (共两个主变压器出线间隔), 选用有两个二次绕组的电流互感器, 35kV 开关、设备、继电保护、表计等组装在移开式金属封闭开关柜为成套装置。

35kV 开关柜采用固定式金属封闭开关柜, 可按图 4.2-3 所示的主接线将固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。35kV 进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

所用变压器可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的取舍。35kV 变电所一般设置两台所用变压器如图 4.2-2 所示, 35kV 一段电源设一台所用变压器, 在 10kV 另一段电源设一台所用变的做法也较普遍。因能从 35kV 变电所外可取得可靠的所用电备用电源, 35kV 变电所可在 35kV 某段电源设一台所用变压器。当 35kV 变电所设有低压配电变压器或从 35kV 变电所外可取得可靠的所用电电源, 且采用蓄电池的直流操作电源系统或 UPS 供电的交流操作电源系统, 有用户 35kV 变电所中不设所用变压器的工程实例。

主变压器采用纵联差动保护, 电流互感器为有 3 个二次绕组的电流互感器。

35kV 变电所当 35kV 电源架空线路系干线式供电, 即非专线供电时, 其供电系统适用于对二级负荷的供电。当 35kV 电源架空或电缆进线为放射式专线供电, 该供电系统适用于对一级负荷的供电。

#### (3) 分段单母线接线

二路 35kV 电源进线分段单母线接线供电系统概略图, 如图 4.2-4 所示。

该供电系统概略图配电装置有二路 35kV 电源进线, 每段电源均设置 35/0.4kV 所用变压器, 所用变压器二次侧设有接触器作为开关电器的双电源切换装置, 二路 35kV 电源电能计量为高供高计。35kV 每段母线设带有剩余电压绕组的母线电压互感器, 每段 35kV 母线有一个主变压器出线间隔 (共两个主变压器出线间隔); 选用有两个二次绕组的电流互感器; 两个 35kV 电源均设有电源监视电压互感器, 可设置备用电源自动投入装置。35kV 开关、设备、继电保护、自动投入装置、表计等组装在移开式金属封闭开关柜为成套装置。

35kV 开关柜采用固定式金属封闭开关柜, 可按图 4.2-4 所示的主接线将固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。35kV 进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

所用变压器可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的取舍。35kV 变电所一般设置两台所用变压器如图 4.2-2 所示, 35kV 一段电源设一台所用变压器, 在 10kV 另一段电源设一台所用变压器的做法也较普遍。因能从 35kV 变电所外可取得可靠的所用电备用电源, 35kV 变电所可在 35kV 某段电源设一台所用变压器。当 35kV 变电所设有低压配电变压器或从 35kV 变电所外可取得可靠的所用电电源, 且采用蓄电池的直流操作电源系统或 UPS 供电的交流操作电源系统, 有用户 35kV 变电所中不设所用变压器的工程实例。

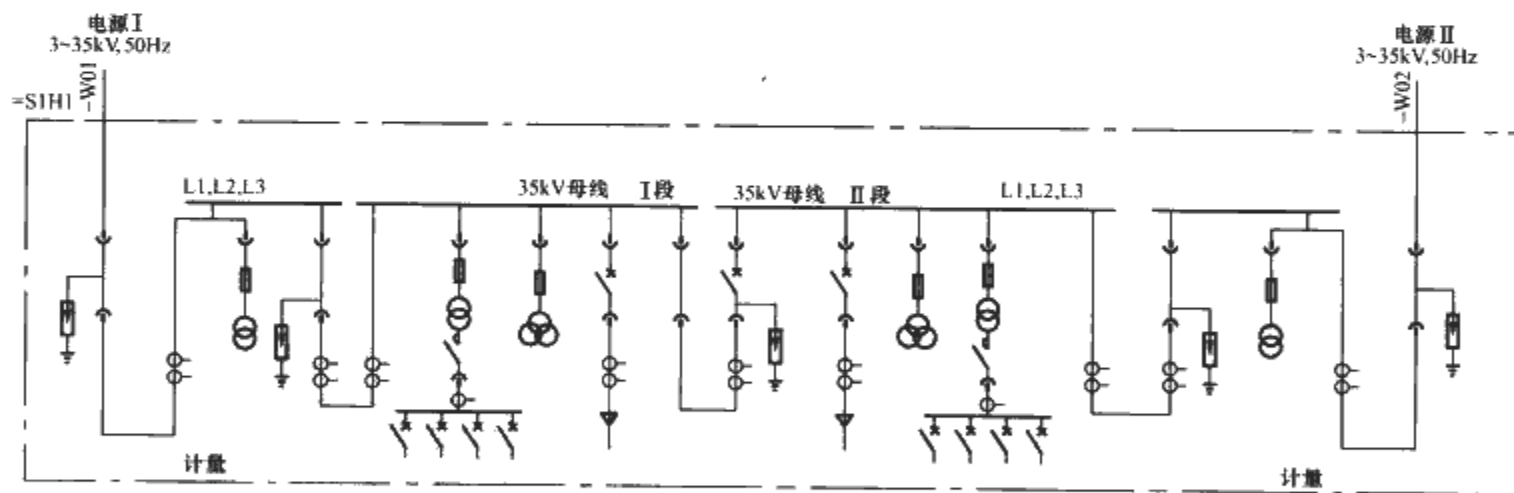


图 4.2-3 二路 35kV 电源进线外桥接线供电系统概略图

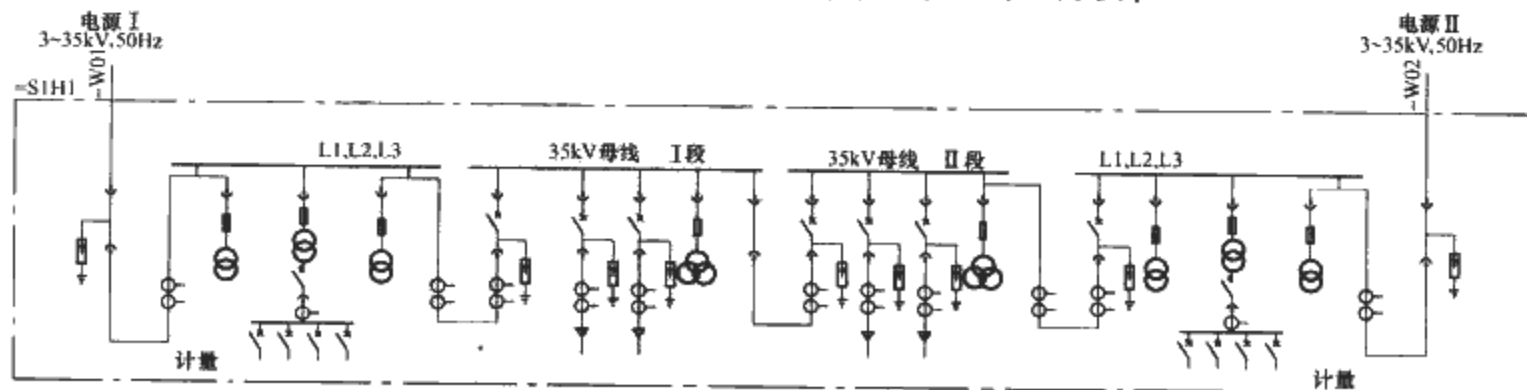


图 4.2-4 二路 35kV 电源进线分段单母线接线供电系统概略图

馈电间隔可根据工程需要增减。图 4.2-4 按两台主变压器出线间隔绘制,当需从 35kV 变电所引出 35kV 电源可根据需要增加 35kV 馈电间隔,根据配电变压器的数量增加变压器出线间隔。

主变压器、进线采用纵联差动保护,电流互感器为有 3 个二次绕组的电流互感器。

35kV 变电所当 35kV 电源架空线路系干线式,即非专线供电时,其供电系统适用于对二级负荷的供电。当 35kV 电源架空或电缆进线系放射式专线供电,该供电系统适用于对一级负荷的供电。

### 1.1.3 三路 35kV 进线电源

三路 35kV 电源进线分段单母线接线供电系统概略图,如图 4.2-5 所示。

35kV 变电所当三路 35kV 电源仅为双电源供电时,其供电系统适用于对一级负荷的供电。当 3 个 35kV 电源架空或电缆放射式专线供电,该供电系统适用于对一级负荷的供电及一级负荷中的重要负荷供电。

该供电系统概略图配电装置有三路 35kV 电源进线,电源 I、电源 II 引自同一电力系统区域变电所不同电源段,电源 III 引自电力系统不同区域变电所,电源 III 为电源 I、电源 II 的共用备用电源,电源 I、电源 II 同时也作为电源 III 的备用电源,当电源 III 失电时电源 I、电源 II 互为备用;电源 III 母线段设置 35/0.4kV 所用变压器,所用变压器二次设有接触器,可作为双电源切换装

置的开关电器;三路 35kV 电源电能计量为高供高计;35kV 每段母线均设带有剩余电压绕组的母线电压互感器;每段 35kV 母线有一个主变压器出线间隔(共 3 个主变压器出线间隔);选用有两个二次绕组的电流互感器;3 个 35kV 电源均设有电源监视电压互感器,可设置备用电源自动投入装置;35kV 开关、设备、继电保护、自动投入装置、表计等组装在移开式金属封闭开关柜内为成套装置。

35kV 开关柜采用固定式金属封闭开关柜,可按图 4.2-5 所示的主接线,将固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。35kV 进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

所用变压器可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的取舍。35kV 变电所一般设置两台所用变压器。图 4.2-5 在 35kV 电源 III 设置一台所用变压器,是按照另一台所用变压器设在电源 I 或电源 II 10kV 电源及能从 35kV 变电所外可取得可靠的所用电源或 35kV 变电所设有低压配电变压器的考虑设计的。

馈电间隔可根据工程需要增减。图 4.2-5 按 3 台主变压器出线间隔绘制,当需从 35kV 变电所引出 35kV 电源可根据需要增加 35kV 馈电间隔,根据配电变压器的数量增加变压器出线间隔。

主变压器、进线采用纵联差动保护,电流互感器为有 3 个二次绕组的电流互感器。

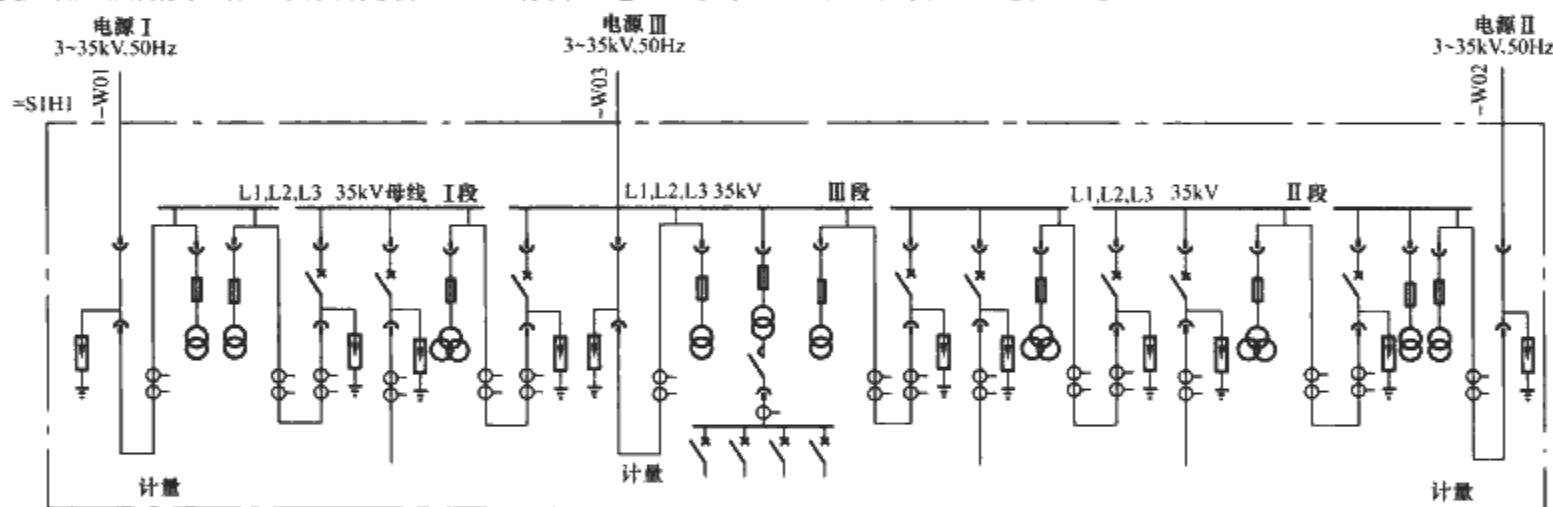


图 4.2-5 三路 35kV 电源进线分段单母线接线供电系统概略图

## 1.2 10kV 配电系统主接线

### 1.2.1 环网开关设 10kV 配电系统主接线

#### (1) 配电变压器 10kV 电源进线接线

配电变压器 10kV 进线系统概略图,如图 4.2-6 所示。

该进线系统配电装置有一路 10kV 电源进线,采用电缆下进线方式接入。进线间隔设隔离开关,检修用电设备时断开电源用于安全隔离,馈出间隔设有高压负荷开关,配电变压器绕组、引出线的相间路、绕组的匝间短路等内部故障采用高压熔断器保护。10kV 开关、设备等电器组装在固定金属封闭开关柜(金属封闭环网开关设备)。

配电变压器低压侧配电系统等外部短路、过电流、接地故障由配电变压器低压侧断路器保护。图 4.2-6 适用于用电电能计量为高供低计,配电变压器的容量不超过 1250kVA 的用户。

当 10kV 电源系干线式供电,即非专线供电,该供电系统适用于三级负荷的供电。当 10kV 电源为放射式专线供电,该供电系统适用于二级负荷的供电。

#### (2) 单母线接线

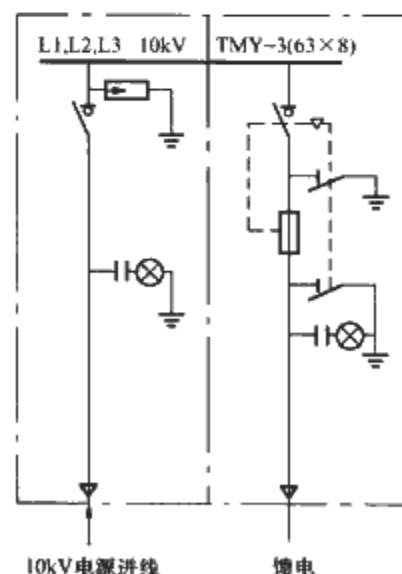


图 4.2-6 配电变压器 10kV 进线系统概略图

一路 10kV 电源进线单母线接线供电系统概略图,如图 4.2-7 所示。

该进线系统配电装置有一路 10kV 电源进线,采用电缆下进线方式接入,进线间隔设隔离开关,检修用电设备时断

开电源用于安全隔离；电能计量采用高供高计；设有两个配电变压器馈出间隔，装设高压负荷开关，配电变压器绕组、引出线的相间路、绕组的匝间短路等内部故障采用高压熔断器保护；10kV 开关、设备等电器组装在固定金属封闭开关柜（金属封闭环网开关设备）。

可根据进线隔离开关的容量及所需配电变压器的台数增加变压器的出线间隔。

配电变压器低压侧配电系统等外部短路、过电流、接地故障由配电变压器低压侧断路器保护。图 4.2-7 适用于配电变压器单台容量不超过 1250kVA 的用户。

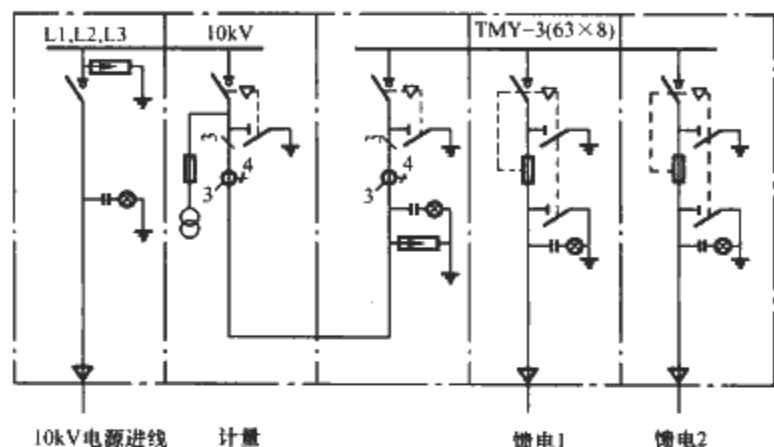


图 4.2-7 一路 10kV 电源进线单母线  
接线供电系统概略图

当 10kV 电源系干线式供电，即非专线供电，该供电系统适用于三级负荷的供电；当 10kV 电源为放射式专线供电，该供电系统适用于二级负荷的供电。

### (3) 一路电源环网供电接线

一路 10kV 电源进线环网供电系统概略图，如图 4.2-8 所示。

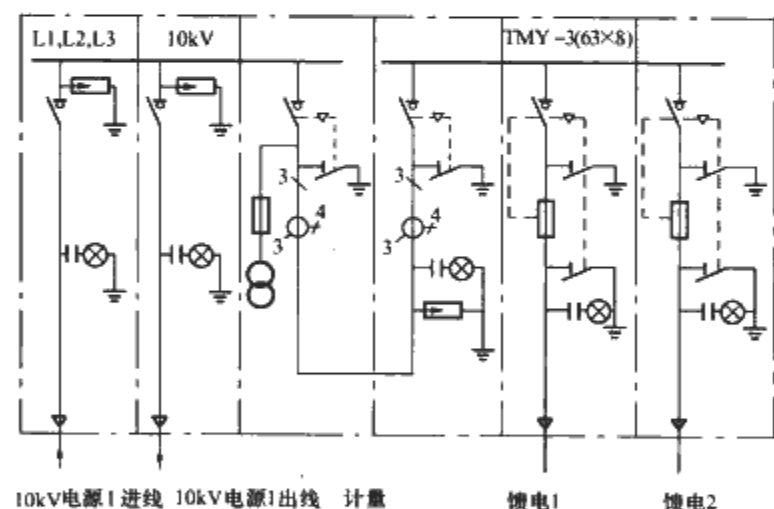


图 4.2-8 一路 10kV 电源进线环网供电系统概略图

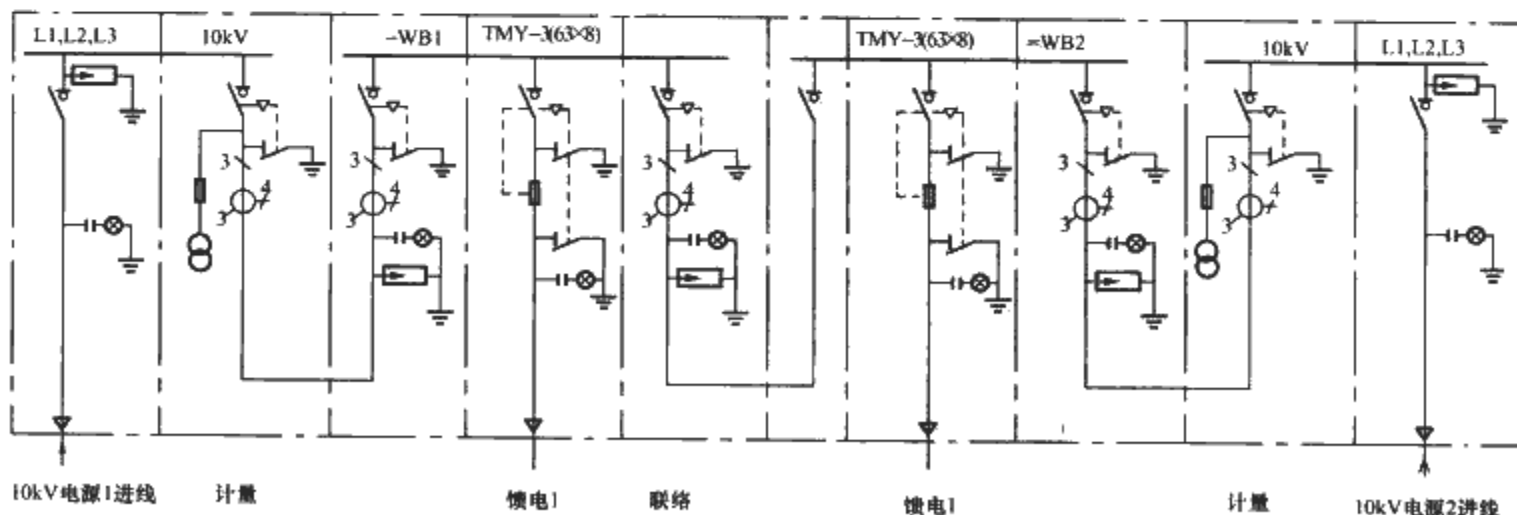


图 4.2-9 二路 10kV 电源进线分段单母线接线供电系统概略图

该进线系统配电装置有一路 10kV 电源进线，采用电缆下进线方式接入；进线间隔设进线隔离开关；馈出一个干线式供电间隔，设有馈电隔离开关，馈电电缆采用下出线；电能计量采用高供高计；有两个配电变压器馈出间隔，设有高压负荷开关，配电变压器绕组、引出线的相间路、绕组的匝间短路等内部故障采用高压熔断器保护；10kV 开关、设备等电器组装在固定金属封闭开关柜（金属封闭环网开关设备）。

可根据进线隔离开关的容量及所需配电变压器的台数增加变压器的出线间隔。

配电变压器低压侧配电系统等外部短路、过电流、接地故障由配电变压器低压侧断路器保护。图 4.2-7 适用于配电变压器单台容量的容量不超过 1250kVA 的用户。

10kV 电源系干线式供电，该供电系统适用于三级负荷的供电。

### (4) 二路电源供电分段单母线接线

二路 10kV 电源进线分段单母线接线供电系统概略图，如图 4.2-9 所示。

该进线系统配电装置有二路 10kV 电源进线，采用电缆下进线方式接入；进线间隔设隔离开关，检修用电设备时断开电源用于安全隔离；电能计量采用高供高计；每个电源段设有一个配电变压器馈出间隔，该间隔设有高压负荷开关用于带电操作，设高压熔断器承担配电变压器绕组、引出线的相间路、绕组的匝间短路等内部故障的保护；两个电源间设有分段负荷开关（联络开关），当一路电源失电，手动操作失电电源进线隔离开关后，手动合分段负荷开关，使负荷恢复供电；10kV 开关、设备等电器组装在固定金属封闭开关柜（金属封闭环网开关设备）。

根据进线隔离开关的容量及所需配电变压器的台数可增加配电变压器馈出间隔。

配电变压器的二次侧低压配电系统等外部短路、过电流、接地故障由配电变压器低压侧断路器保护。图 4.2-9 所示的配电变压器馈出间隔适用于配电变压器单台容量的容量不超过 1250kVA 的用户。

当 10kV 电源系干线式供电，即非专线供电，该供电系统适用于二、三级负荷的供电；当二路 10kV 电源均为放射式专线供电，该供电系统适用于一级负荷的供电。

### (5) 二路电源环网供电分段单母线接线

二路 10kV 电源环网分段单母线接线供电系统概略图，如图 4.2-10 所示。

该进线系统配电装置有二路 10kV 电源进线，采用电缆下进线方式接入；进线间隔设进线隔离开关；每路 10kV 电



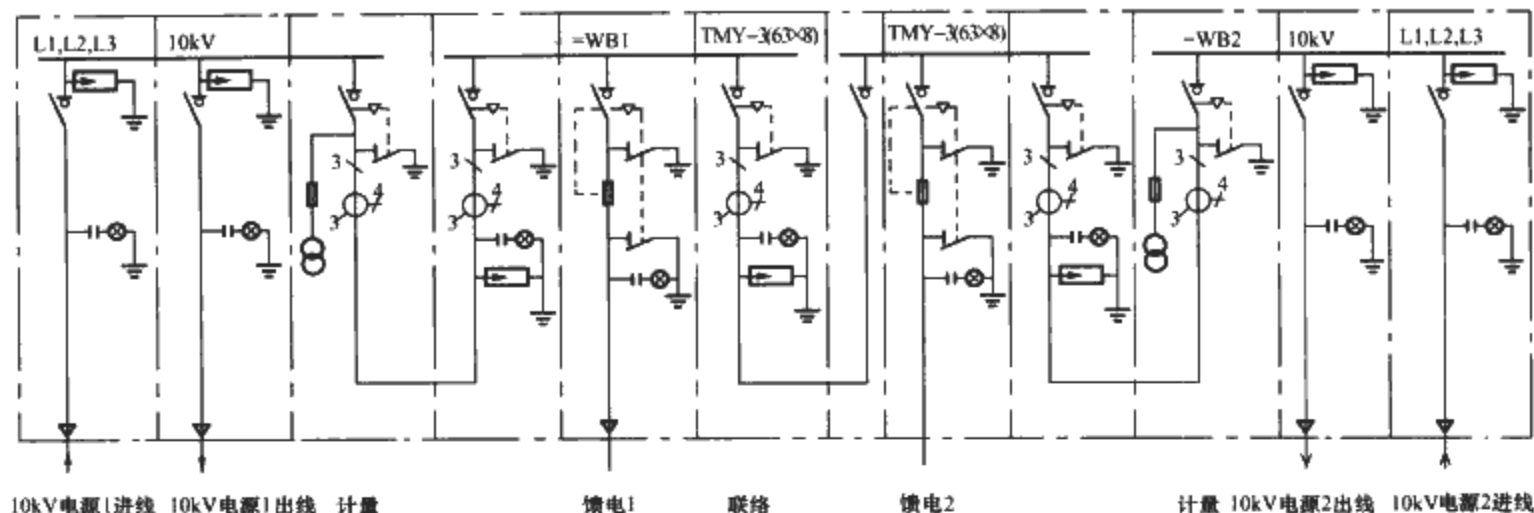


图 4.2-10 二路 10kV 电源环网分段单母线接线供电系统概略图

源馈出一个干线式供电间隔，该间隔设有馈电隔离开关，馈电电缆采用下出线；电能计量采用高供高计；每个电源段有一个配电变压器馈出间隔，该间隔设有高压负荷开关用于带电操作，配电变压器绕组、引出线的相间、绕组的匝间短路等内部故障采用高压熔断器保护；10kV 开关、设备等电器组装在固定金属封闭开关柜（金属封闭环网开关设备）。

可根据进线隔离开关的容量及所需配电变压器的台数增加变压器的出线间隔。

配电变压器低压侧配电系统等外部短路、过电流、接地故障由配电变压器低压侧断路器保护。图 4.2-10 适用于配电变压器单台容量的容量不超过 1250kVA 的用户。

10kV 电源系干线式供电，该供电系统适用于二、三级负荷的供电。

#### (6) 二路电源（一用一备）单母线接线

二路 10kV 电源进线一用一备供电系统概略图，如图 4.2-11 所示。

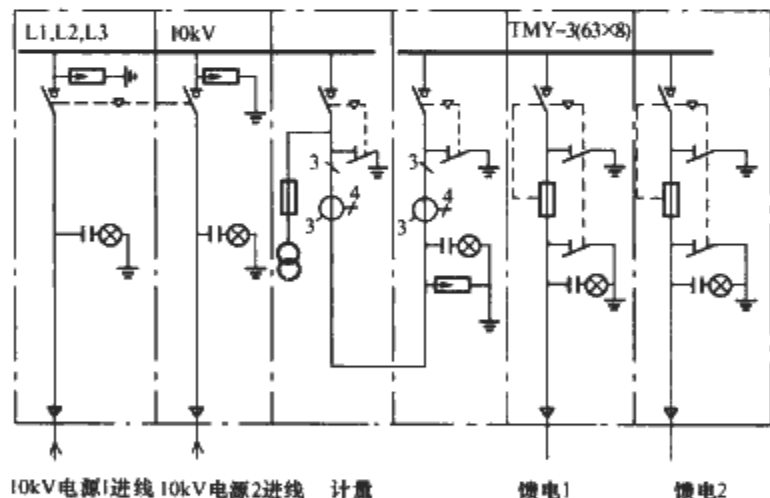


图 4.2-11 二路 10kV 电源进线一用一备供电系统概略图

该进线系统配电装置有二路 10kV 电源进线一用一备，电源进线间隔的进线开关间设有机械联锁，防止两路电源并列运行，电源进线采用电缆下进线方式接入；电能计量采用高供高计；设有两个配电变压器馈出间隔，设高压熔断器承担配电变压器绕组、引出线的相间路、绕组的匝间短路等内部故障的保护；10kV 开关、设备等电器组装在固定金属封闭开关柜（金属封闭环网开关设备）。

根据进线隔离开关的容量及所需配电变压器的台数可增加变压器的出线间隔。

配电变压器低压侧配电系统等外部短路、过电流、接地故障由配电变压器低压侧断路器保护。图 4.2-11 适用于配电变压器单台容量的容量不超过 1250kVA 的用户。

当 10kV 电源系干线式供电，即非专线供电，该供电系

统适用于二级负荷的供电；当 10kV 电源为放射式专线供电，该供电系统适用于一、二级负荷的供电。

#### 1.2.2 金属封闭开关柜 10kV 配电系统主接线

##### (1) 一路电源单母线接线

1) 进线设零序电流互感器的一路电源单母线接线。进线设零序电流互感器的一路电源单母线接线的 10kV 单母线接线配电系统概略图，如图 4.2-12 所示。

该供电系统概略图配电装置有一路 10kV 电源进线；10kV 用电电能计量为高供高计；10kV 电源进线处设零序电流互感器，采用检测电流瞬时值的矢量和监控 10kV 母线系统的接地故障；6 个配电变压器、高压电动机、10kV 馈电出线间隔；选用有两个二次绕组的电流互感器；10kV 开关、设备、继电保护、表计等组装在移开式金属封闭开关柜为成套装置。

10kV 开关柜采用固定式金属封闭开关柜，可按图 4.2-12 所示的主接，将按固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。10kV 进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

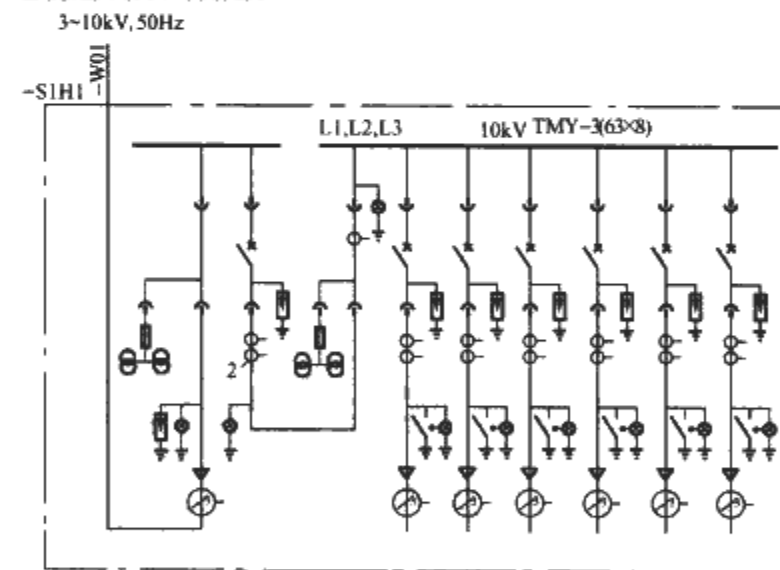


图 4.2-12 10kV 单母线接线配电系统概略图（一）

所用变压器可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的需要取舍。10kV 变电所因弹簧储能机构允许手动储能，且一般 10kV 开关所和 10/0.4kV 变电所建在一起，变电所能够提供 220/380V 所用电，所以一般可不设置专用所用电变压器。35kV 变电所中在 35kV 系统设了一台所用变压器，需要在 10kV 系统设置所用变压器，可设专用所用变压器。

图 4.2-12 馈电间隔可根据工程需要增减。

35/10kV 主变压器、10/0.4kV 配电变压器、高压电动机采用纵联差动保护时，电流互感器为有 3 个二次绕组的电

流互感器。

当10kV电源架空线路系干线式供电,即非专线供电,该供电系统适用于三级负荷的供电;当10kV电源架空或电缆进线为放射式专线供电,该供电系统适用于二级负荷的供电。

(2) 母线设带剩余电压绕组电压互感器的一路电源单母线接线

母线设带剩余电压绕组电压互感器的单路电源单母线接线的10kV单母线接线配电系统概略图,如图4.2-13所示。

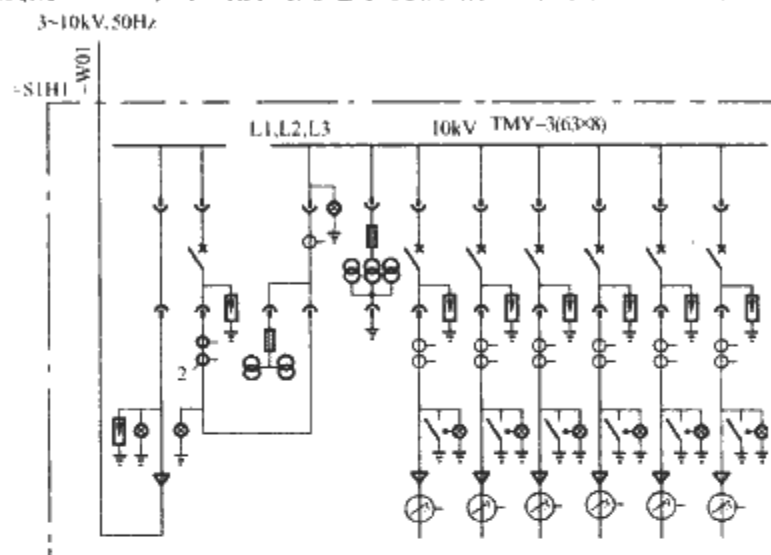


图 4.2-13 10kV 单母线接线配电系统概略图 (二)

该供电系统概略图配电装置有一路10kV电源进线,采用单母线接线;10kV用电电能计量为高供高计;10kV母线系统设置带剩余电压绕组电压互感器,通过检测母线的剩余电压监控接地故障;6个配电变压器、高压电动机、10kV馈电出线间隔;选用有两个二次绕组的电流互感器;10kV开关、设备、继电保护、表计等组装在移开式金属封闭开关柜为成套装置。

10kV开关柜采用固定式金属封闭开关柜,可按图4.2-13所示的主接线,将固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。10kV进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

所用变可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的取舍。10kV变电所因弹簧储能机构允许手动储能,且一般10kV开关所和10/0.4kV变电所建在一起,变电所能够提供220/380V所用电,所以一般可不设置专用所电变压器。需要在10kV系统设置所用变压器,可设专用所用变压器。

图4.2-13 馈电间隔可根据工程需要增减。

35/10kV主变压器、10/0.4kV配电变压器、高压电动机采用纵联差动保护时,电流互感器为有3个二次绕组的电

流互感器。

当10kV电源架空线路系干线式供电,即非专线供电,该供电系统适用于三级负荷的供电;当10kV电源架空或电缆进线为放射式专线供电,该供电系统适用于二级负荷的供电。

(3) 二路电源分段单母线接线

1) 进线设零序电流互感器的二路电源分段单母线接线。进线设零序电流互感器的二路电源分段单母线接线的10kV分段单母线接线配电系统概略图,如图4.2-14所示。

该供电系统概略图配电装置有二路10kV电源进线,二路10kV电源互为备用,采用分段单母线接线;二路10kV电源电能计量为高供高计;10kV电源进线处设零序电流互感器,采用检测电流瞬时值的矢量和监控10kV母线系统的接地故障;10kV每段母线设置5个配电变压器、高压电动机、10kV馈电出线间隔(两段母线共有10个间隔);选用有两个二次绕组的电流互感器;两个10kV电源均设有电源监视电压互感器,可设置备用电源自动投入装置;10kV开关、设备、继电保护、自动投入装置、表计等组装在移开式金属封闭开关柜为成套装置。

10kV开关柜采用固定式金属封闭开关柜,可按图4.2-14所示主接线按固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。10kV进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

所用变压器可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的取舍。10kV变电所因弹簧储能机构允许手动储能,且一般10kV开关所和10/0.4kV变电所建在一起,变电所能够提供220/380V所用电,故一般可不设置专用所电变压器。35kV变电所中在35kV系统设了一台所用变,需要在10kV系统设置所用变,可设专用所用变。

图4.2-14 馈电间隔可根据工程需要增减。

当10kV配电系统不需备自投时可取消图4.2-14电源进线处电源监视电压互感器。

35/10kV主变压器、10/0.4kV配电变压器、高压电动机采用纵联差动保护时,电流互感器为有3个二次绕组的电流互感器。

10kV变电所当10kV电源架空线路系干线式,即非专线供电时,其供电系统适用于对二级负荷的供电;当10kV电源架空或电缆进线系放射式专线供电,该供电系统适用于对一级负荷的供电。

2) 母线设带剩余电压绕组电压互感器的二路电源分段单母线接线。母线设带剩余电压绕组电压互感器的二路电源分段单母线接线的10kV分段单母线接线配电系统概略图,如图4.2-15所示。

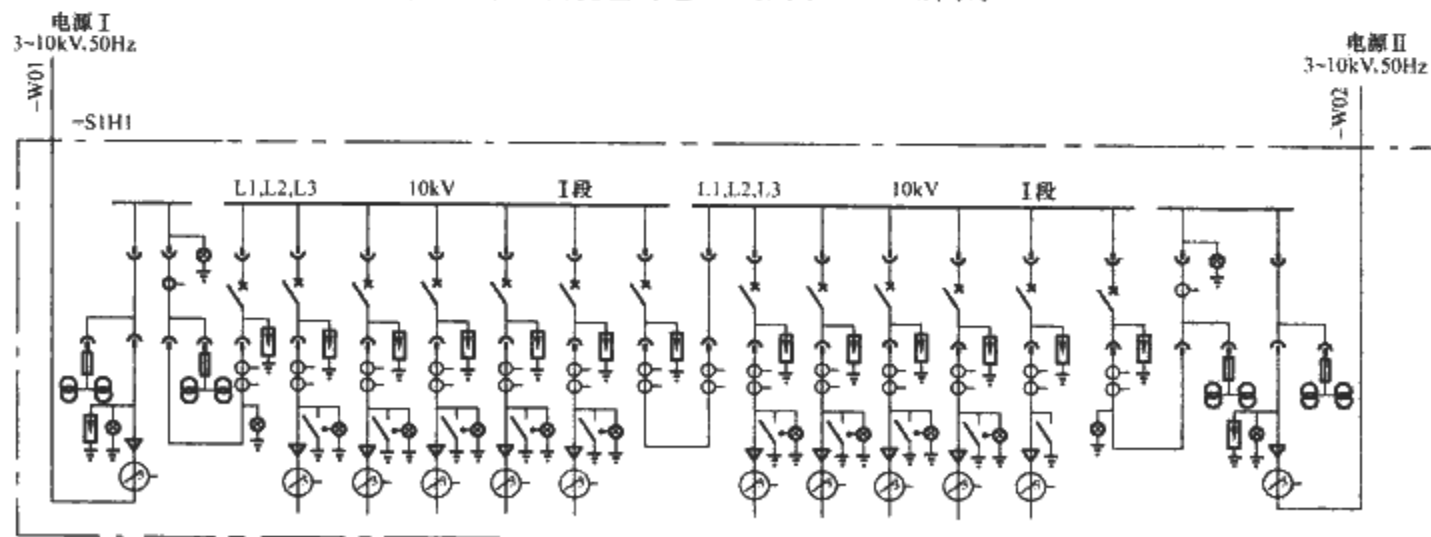


图 4.2-14 10kV 分段单母线接线配电系统概略图 (一)

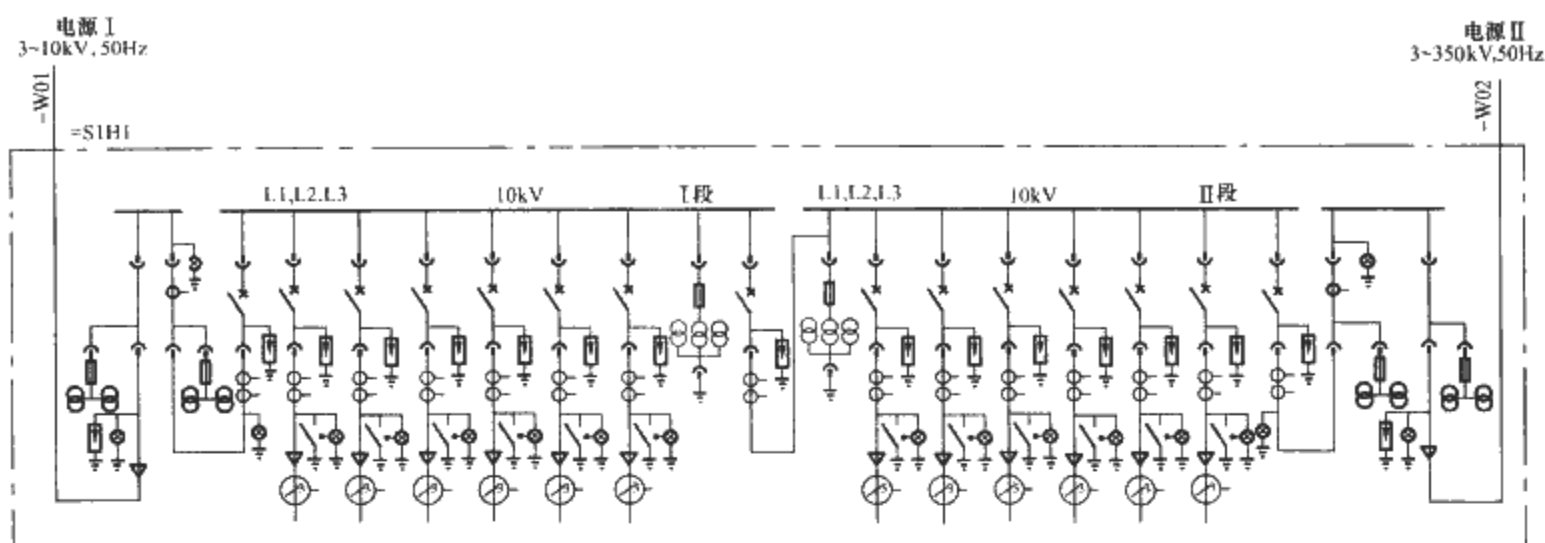


图 4.2-15 10kV 分段单母线接线配电系统概略图 (二)

该供电系统概略图配电装置有二路 10kV 电源进线，二路 10kV 电源互为备用；二路 10kV 电源电能计量为高供高计；10kV 母线系统设置带剩余电压绕组电压互感器，通过检测母线的剩余电压监控接地故障；10kV 每段母线设置 6 个配电变压器、高压电动机、10kV 馈电出线间隔（两段母线共有 12 个间隔）；选用有两个二次绕组的电流互感器；两个 10kV 电源均设有电源监视电压互感器，可设置备用电源自动投入装置；10kV 开关、设备、继电保护、自动投入装置、表计等组装在移开式金属封闭开关柜为成套装置。

10kV 开关柜采用固定式金属封闭开关柜，可按图 4.2-15 所示的主接线，将固定式金属封闭开关柜的一次方案套改。10kV 进线隔离开关柜的一次方案依据电源架空进线或电缆进线方式确定。

所用变压器可根据变电所的重要性、容量的大小及操作方式的取舍。10kV 变电所因弹簧储能机构允许手动储能，且一般 10kV 开关所和 10/0.4kV 变电所建在一起，变电所能够提供 220/380V 所用电，故一般可不设置专用所电变压器。35kV 变电所中在 35kV 系统设了一台所用变压器，需要在 10kV 系统设置所用变压器，可设专用所用变压器。

图 4.2-15 馈电间隔可根据工程需要增减。

当 10kV 配电系统不需备自投时可取消图 4.2-14 电源进线处电源监视电压互感器。

35/10kV 主变压器、10/0.4kV 配电变压器、高压电动机采用纵联差动保护时，电流互感器为有 3 个二次绕组的电流互感器。

10kV 变电所当 10kV 电源架空线路系干线式，即非专线供电时，其供电系统适用于对二级负荷的供电；当 10kV 电源架空或电缆进线系放射式专线供电，该供电系统适用于对一级负荷的供电。

#### (4) 四路电源分段单母线接线

许多特大型重要建筑采用四路 10kV 电源供电。一般采用两组如图 14.4-15 所示接线，每组两电源采用分段单母线接线，两电源互为备用；两组四电源通过设联络断路器和隔离电器使 4 个电源实现互为备用。

该系统适用于一级负荷及一级负荷中的特别重要的负荷，二次系统十分复杂，仅在极少数有特殊要求的工程中采用。

## 2 典型中压配电系统主接线的评价

### 2.1 常用变配电主接线的可靠性评估

#### 2.1.1 单母线接线

单母线接线用于单电源供电，接线简单清晰、设备少、操作方便、占地少、便于扩建和采用成套配电装置。但不够灵活可靠，固定式金属封闭开关柜的母线或接在母线上的隔离开关等故障或检修时，移开式金属封闭开关柜的母线或接自母线上的接插电器等故障或检修时，接在该母线上的电源线路和馈出线路均需停止运行，影响整个配电装置对用电负载的供电。

#### 2.1.2 分段单母线接线

分段单母线接线用于多电源供电，接线简单清晰、设备较少、操作方便、占地少、便于扩建和采用成套配电装置，较桥形接线操作简便、灵活，任一变压器或线路投切只需操作一台断路器。但固定式金属封闭开关柜的母线或接在母线上的隔离开关等故障或检修时，及移开式金属封闭开关柜的母线或接自母线上的接插电器等故障或检修时，接在该母线上的电源线路和馈出线路均需停止运行，影响电源段对三级用电负荷的供电，一、二级等重要负荷需经负荷侧双电源自动切换装置改由其他电源段供电。当部分电源失电，通过分段开关，可使一、二级等重要负荷尽快恢复供电。

分段单母线接线的供电可靠性较高。

三电源进线的分段单母线接线供电可靠性高于双电源进线的分段单母线接线。

#### 2.1.3 内桥接线

内桥接线用于双电源及双回路供电，两路电源设有进线断路器，两路电源间设桥接断路器，电力变压器的电源侧不设断路器而设置高压隔离电器，较双电源及双回路供电的分段单母线接线高压断路器使用数量少两台。内桥接线具有所需设备少、结构简单、占地面积小等优点。

一般正常运行时桥接断路器断开运行，一路电源失电或线路故障时，可采用自动投入装置将桥接断路器合闸，使接于失电或线路故障的电力变压器继续运行。

当二路电源进线允许并联运行，桥接断路器是合闸运行时，任一电源线路失电或故障，继电保护装置将其相应的断路器断开，不影响所有电力变压器的正常运行。

电力变压器的切除和投入较复杂，需要动作两台断路器，并且使相对应的线路和变压器短时停运。

对于不会发展需要装设3台电力变压器的变电所,可为具有两路电源进线和3台电力变压器的内扩大桥接线。

为了在检修进线断路器时保证供电,可设旁路开关。外桥接线其供电可靠性与分段单母线相当。

#### 2.1.4 外桥接线

外桥接线用于双电源及双回路供电,两路电源设有进线高压隔离电器,两路电源间设桥接断路器(当操作无要求时,桥接断路器可采用高压隔离电器),电力变压器的电源侧设断路器,较双电源及双回路供电的分段单母线接线高压断路器使用数量少两台。外桥接线所需设备少,结构简单,占地面积小等优点。

当一路电源进线失电或故障,在操作开关倒闸所需的短时间内,将停止对相应一台变压器的供电。

电力变压器的切除和投入较复杂,需要动作两个断路器,并且使相对应的线路和变压器短时停运。

对于不会发展需要装设3台电力变压器的变电所,可为具有两路电源进线和3台电力变压器的外扩大桥接线。

外桥接线其供电可靠性较分段单母线接线及内桥接线要差。

综上所述,按其供电可靠性的排序(从高往低)

为:①三电源分段单母线接线;②二电源分段单母线接线、内桥接线;③外桥接线,单母线接线。

### 2.2 常用变配电主接线的适用范围

#### 2.2.1 单母线接线

单母线接线适用于容量小、线路少及对二、三级负荷供电的变电所。

#### 2.2.2 分段单母线接线

分段单母线接线适用于35kV多路电源进线、35kV配电装置出线回路数多于2回路的一、二级负荷供电的变电所;适用于10kV多路电源进线、10kV配电装置出线回路数为6回路以上的一、二级负荷供电的变电所,在建筑电气中广泛应用。

#### 2.2.3 内桥接线

内桥接线适用于对一、二级负荷供电,且变压器不频繁切换或线路较长,故障率较高的变电所。

#### 2.2.4 外桥接线

外桥接线适用于对一、二级负荷供电,且变压器的切换较频繁或线路较短,故障率较少的变电所。当线路有穿越功率时,也宜采用外桥接线。

## 第3章 短路电流计算

### 1 短路电流计算的一般情况

#### 1.1 短路电流计算方法

我国在20世纪50年代初~70年代末,短路电流计算采用运算曲线法。

20世纪80年代初,电力工业部电力建设总局、水力发电建设总局联合发文,关于试行《短路电流实用计算方法》的通知,要求在工程设计中试行。

1986年《导体和电器选择设计技术规定》(SDGJ14—1986)中,以附件形式明确使用《短路电流实用计算方法》。该方法以西安交通大学为主,并由原电力工业部西北电力设计院、西北勘测设计院、水利部北京勘测设计院等单位参加共同完成的。该方法根据国产机组的参数,考虑到我国电力系统负荷分配的实际情况,用概率统计方法制定了新的短路电流运算曲线,并对非周期分量的时间常数及短路电流热效应计算提出了新的方法。

2002年《水电工程三相交流系统短路电流计算导则》(DL/T 5163—2002)补充了自并励水轮发电机运算曲线。

1995年国家技术监督局批准了《三相交流系统短路电流计算》(GB/T 15544—1995)。该标准等效采用《三相交流系统短路电流计算》IEC 909(1988)。该标准主要作为进出口设备及对外工程投标使用,在国内工程计算中逐步推广采用。

每种短路电流计算都相应应有短路电流电磁效应和热效应计算方法,特别是热效应计算各不相同。以前短路电流运算曲线法,相应的热效应计算采用假想时间法,即

$$Q_k = I_{\infty}^2 (t_{qn} + t_{qs})$$

我国短路电流实用计算方法,相应的热效应计算采用近似值积分法,即

$$Q_k = Q_z + Q_{fz}$$

$$Q_k = \int_0^t i_{kt}^2 dt = \int_0^t I_{kt}^2 dt + \int_0^t i_{fkt}^2 e^{-kt/Ta} dt$$

$$Q_k = (I_{\infty}^2 + 10I_{\infty}^2/2 + I_{\infty}^2)t_k/12 + T_a(1 - e^{-2\alpha t_k/T_a})I_{\infty}^2/\omega$$

国家标准只公布了《三相交流系统短路电流计算》,未公布相应的《短路电流一效应计算》。而《三相交流系统短路电流计算》[IEC 909(1988)]有相应的《短路电流一效应计算第一部分:定义和计算方法》[IEC 865—1(1993)]和《短路电流一效应计算第二部分:计算例题》[IEC 865—2(1994)]。

IEC 短路电流计算相应的作用于裸导体和电气设备的热效应计算采用  $m$ 、 $n$  系数法,也称假想电流法,即

$$I_{th} = I_n'' \sqrt{m+n}, Q_k = I_n''^2 n t_k, Q_{fz} = I_n''^2 m t_k$$

$$Q_k = Q_z + Q_{fz} = I_n''^2 (n+m) t_k$$

因此本书中仍按《短路电流实用计算方法》编写。

另外在建筑电气设计中,由于中压配电网络与低配电网络紧密联系,所以在本章中也包括低压配电网络短路电流计算。

#### 1.2 短路电流计算的基本概念

在三相交流系统中可能发生的短路故障主要有三相短

路、两相短路和单相短路(包括单相接地故障)。通常,三相短路电流最大。当短路点发生在发电机附近时,两相短路电流可能大于三相短路电流;当短路点靠近中性点接地的变压器时,单相短路电流也有可能大于三相短路电流。

短路过程中短路电流变化的情况决定于系统电源容量的大小或短路点离电源的远近,如图4.3-1所示。在工程计算中,如果以供电电源容量为基准的短路电路计算电抗大于或等于3,认为电源母线电压维持不变,不考虑短路电流周期分量的衰减,短路电流将按短路电流不含衰减交流分量的系统,即无限大电源容量的系统或远离发电机端短路进行计算。否则,短路电流应按短路电流含衰减交流分量的系统,即有限电源容量的系统或靠近发电机端短路进行计算。

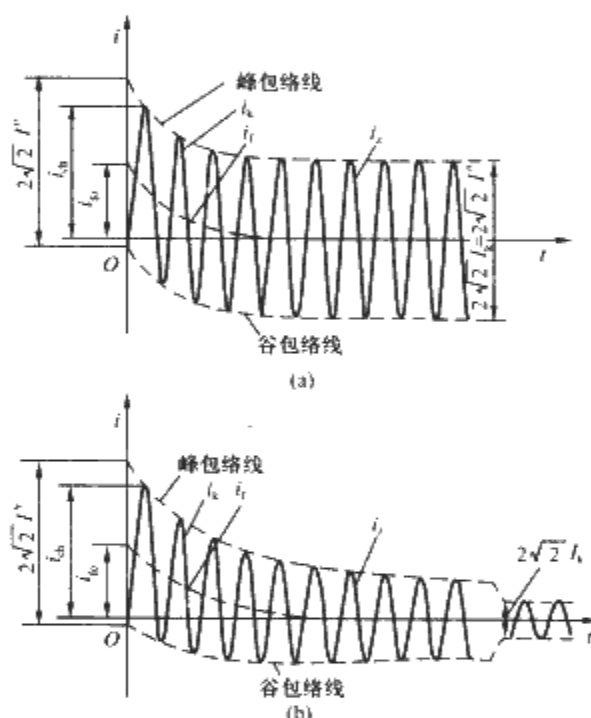


图4.3-1 短路电流变化示意图

(a) 远离发电机端的短路电流;

(b) 靠近发电机端部的短路电流

$i_k$ —短路全电流;  $i_{ch}$ —短路冲击电流;  $i_z$ —短路电流周期分量;  $i_f$ —短路电流非周期衰减分量;  $I''$ —起始或0s短路电流周期分量有效值(超瞬态短路电流有效值);  $I_k$ —稳态短路电流有效值;  $i_0$ —短路电流非周期分量的起始值

#### 1.3 短路电流计算的主要目的

- 1) 电气接线方案的比较和选择。
- 2) 正确选择和校验电气设备(包括限制短路电流的设备)。
- 3) 正确选择和校验载流导体。
- 4) 继电保护的选择与整定。
- 5) 接地装置的设计及确定中性点接地方式。
- 6) 计算软导线的短路摇摆。
- 7) 确定分裂导线间隔棒的间距。
- 8) 验算接地装置的接触电压和跨步电压。
- 9) 大、中型电动机的起动。

短路电流计算应求出最大短路电流值,以确定电气设备容量或额定参数,整定继电保护装置,求出最小短路电流值,作为选择熔断器、校验继电保护装置灵敏系数和校验电动机起动的依据。

#### 1.4 短路电流计算条件

1) 在短路持续时间内,短路相数不变。

2) 具有分接开关的变压器,其开关位置均视为在主分接位置。

3) 不计电弧电阻。

此外,在《短路电流实用计算方法》中还规定:

1) 短路前三相系统应是正常运行情况下的接线方式,不考虑仅在切换过程中短时出现的接线方式。

2) 设定短路回路各元件的磁路系统为不饱和状态,即认为各元件的感抗为常数。计算中应考虑对短路电流有影响的所有元件的电抗,有效电阻可略去不计。但若短路电路中总电阻  $R_\Sigma$  大于总电抗  $X_\Sigma$  的  $1/3$ ,则仍应计入其有效电阻。

3) 假定短路发生在短路电流为最大值的瞬间,所有电源的电动势相位角相同,所有同步电机都具有自动调整励磁装置(包括强行励磁),系统中所有电源都在额定负荷下运行。

4) 电路电容和变压器的励磁电流略去不计。一般需要计算下列短路电流值:

①  $i_{ch}$  为短路冲击电流(短路全电流最大瞬时值或短路电流峰值)。

②  $I_{ch}$  为短路全电流最大有效值。

③  $I''_k$  或  $I'$  为超瞬态短路电流有效值(起始的短路电流周期分量有效值)。

④  $I_{0.2}$  为短路后 0.2s 的短路电流周期分量有效值。

⑤  $I_k$  为稳态短路电流有效值。

#### 1.5 影响短路电流的因素

1) 系统的电压等级。

2) 主接线形式以及主接线的运行方式。

3) 系统的元件正负序阻抗及零序阻抗大小(变压器中性点接地点的多少)。

4) 是否加装限流电抗器(如限流电抗器、分裂电抗器或分裂绕组变压器)。

5) 是否采用限流型电器(如限流熔断器、限流型低压断路器)。

#### 1.6 限制短路电流的措施

各场合采取的具体措施

(1) 电力系统可采取的限流措施

1) 提高电力系统的电压等级。

2) 直流输电。

3) 在电力系统主网加强联系后,将次级电网解环运行。

4) 在允许的范围内,增大系统的零序阻抗,例如采用不带第三绕组或第三绕组为 Y 接线的全星形自耦变压器,减少变压器的接地点等。

(2) 发电厂和变电所中可采取的限流措施

1) 发电厂中,在发电机电压母线分段回路中安装电抗器。

2) 变压器分列运行。

3) 变电所中,在变压器回路中装设分裂电抗器或电抗器。

4) 采用低压侧为分列绕组的变压器。

5) 出线上装设电抗器。

(3) 终端变电所中可采取的限流措施

1) 变压器分列运行。

2) 采用高阻抗变压器。

3) 在变压器回路中装设电抗器。

4) 采用小容量变压器。

## 2 电路元件参数的换算及网络变换

进行短路电流计算时,先要知道短路电路的电参数,然后通过网络变换求得电源至短路点之间的等值总阻抗,最后按照公式或运算曲线求出短路电流。

短路电路的电参数可以用有单位制表示,也可以用标幺值表示。有单位制一般用于 1000V 以下低压网络的短路电流计算,标幺值则广泛用于高压网络。

### 2.1 标幺值

标幺值是一种相对单位制,电参数的标幺值为其有名值与基值之比,即

容量标幺值

$$S_* = S/S_j \quad (4.3-1)$$

电压标幺值

$$U_* = U/U_j \quad (4.3-2)$$

电流标幺值

$$I_* = I/I_j \quad (4.3-3)$$

电抗标幺值

$$X_* = X/X_j \quad (4.3-4)$$

工程计算中通常首先选定基准容量  $S_j$  和基准电压  $U_j$ 。与其相应的基准电流  $I_j$  和基准电抗  $X_j$ ,在三相电力系统中可由下式导出

$$I_j = S_j/\sqrt{3}U_j \quad (4.3-5)$$

$$X_j = U_j/\sqrt{3}I_j = U_j^2/S_j \quad (4.3-6)$$

在三相电力系统中,电路元件电抗的标幺值  $X_*$  可表示为

$$X_* = X/X_j = \sqrt{3}I_j X/U_j = S_j X/U_j^2 \quad (4.3-7)$$

基准容量  $S_j$  一般取 100MVA,如为有限电源容量系统,则可选取向短路点馈送短路电流的发电机额定总容量  $S_{T\Sigma}$  作为基准容量。基准电压  $U_j$  应取各电压级平均电压(线电压)  $U_p$ ,即  $U_j = U_p \approx 1.05U_n$  ( $U_n$  为系统标称电压),对于标称电压为 220/380V 的电压级,则计入电压系数  $C$  (取 1.05),即  $1.05U_n = 400V$  或  $0.4kV$ ,常用基准值见表 4.3-1。

表 4.3-1 常用基准值 ( $S_j = 100MVA$ )

系统标称电压 $U_n$ (kV)	0.38	3	6	10	35	110
基准电压 $U_j = U_p$ (kV)	0.40	3.15	6.30	10.50	37	115
基准电流 $I_j$ (kA)	144.30	18.30	9.16	5.50	1.56	0.50

注  $U_j = U_p \approx 1.05U_n$ ,但对于 0.38V,则  $U_j = cU_n = 1.05 \times 0.38 = 0.4kV$ 。

采用标幺值计算短路电路的总阻抗时电路元件阻抗标幺值和有名值的换算公式见表 4.3-2。

### 2.2 有单位制

用有单位制(欧姆制)计算短路电路的总阻抗时,必须把各电压级所在元件阻抗的相对值和欧姆值,都归算到短路点所在级平均电压下的欧姆值。其换算公式见表 4.3-2。



表 4.3-2 电路元件阻抗标么值和有名值的换算公式

序号	元件名称	标 么 值	有名值(Ω)	符 号 说 明
1	同步电机(同步发电机或电动机)	$X_{*d} = (x_d\%/100)(S_j/U_j^2)$ $(U_j^2/S_r)$ $X_{*d} = (x_d\%/100)(S_j/S_r) = x_d S_j/S_r$ (当 $U_j=U_r$ 时)	$X_{*d} = (x_d\%/100)(U_j^2/S_r) = x_d U_j^2/S_r$	$S_r$ —同步电机的额定容量, MVA $S_{rT}$ —变压器的额定容量, MVA(对于三绕组变压器, 是指最大容量绕组的额定容量) $x_d''$ —同步电机的超瞬态电抗相对值 $x_d''\%$ —同步电机的超瞬态电抗百分值 $u_k\%$ —变压器阻抗电压百分值 $x_k\%$ —电抗器的电抗百分值 $U_r$ —额定电压(指线电压), kV $I_r$ —额定电流, kA $X, R$ —线路每相电抗值、电阻值, Ω $S_s''$ —系统短路容量, MVA $S_j$ —基准容量, MVA $I_j$ —基准电流, kA $\Delta P$ —变压器短路负载损耗, kW $U_j$ —基准电压 kV, 对于发电机实际是设备电压
2	变压器	$R_{*T} = (\Delta P/S_{rT}^2) \times 10^{-3}$ $X_{*T} = \sqrt{Z_{*T}^2 - R_{*T}^2}$ $Z_{*T} = (u_k\%/100)(S_j/S_{rT})$ 当电阻值允许忽略不计时 $X_{*T} = (u_k\%/100)(S_j/S_{rT})$	$R_T = (\Delta P/3I_r^2) \times 10^{-3}$ $= (\Delta P U_r^2/S_{rT}^2) \times 10^{-3}$ $X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$ $Z_T = (u_k\%/100)(U_r^2/S_{rT})$ 当电阻值允许忽略不计时 $X_T = (u_k\%/100)(U_r^2/S_{rT})$	
3	电抗器	$X_{*k} = (x_k\%/100)(U_r/\sqrt{3}I_r)(S_j/U_j^2) = (x_k\%/100)(U_r/I_r)(I_j/U_j)$	$X_k = (x_k\%/100)(U_r/\sqrt{3}I_r)$	
4	线路	$X_{*} = X S_j/U_j^2$ $R_{*} = R S_j/U_j^2$		
5	电力系统(已知短路容量 $S_s''$ )	$X_{*s} = S_j/S_s''$	$X_s = U_j^2/S_s''$	
6	基准电压相同, 从某一基准容量 $S_{j1}$ 下的标么值 $X_{*1}$ 换算到另一基准容量 $S_j$ 下的标么值 $X_{*}$	$X_{*} = X_{*1} S_j/S_{j1}$		
7	将电压 $U_{j1}$ 下的电抗值 $X_1$ 换算到另一电压 $U_{j2}$ 下的电抗值 $X_2$		$X_2 = X_1 U_{j2}^2/U_{j1}^2$	

2.3 网络变换

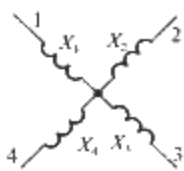
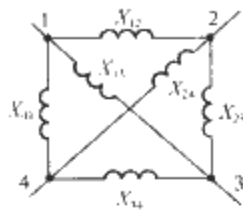
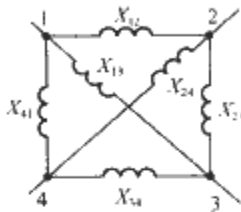
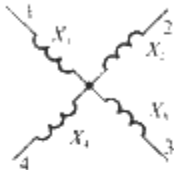
间的等效总阻抗。标么值和有名单位制的常用电抗网络变换公式完全相同, 见表 4.3-3。

网络变换的目的是简化短路电路, 以求得电源至短路点

表 4.3-3 常用电抗网络变换公式

原 网 络	变换后的网络	换 算 公 式
		$X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$
		$X = 1 / (1/X_1 + 1/X_2 + \dots + 1/X_n)$ 当只有两个支路时, $X = X_1 X_2 / (X_1 + X_2)$
		$X_1 = X_{12} X_{31} / (X_{12} + X_{23} + X_{31})$ $X_2 = X_{12} X_{23} / (X_{12} + X_{23} + X_{31})$ $X_3 = X_{23} X_{31} / (X_{12} + X_{23} + X_{31})$
		$X_{12} = X_1 + X_2 + X_1 X_2 / X_3$ $X_{23} = X_2 + X_3 + X_2 X_3 / X_1$ $X_{31} = X_3 + X_1 + X_3 X_1 / X_2$

续表

原 网 络	变换后的网络	换 算 公 式
		$\begin{aligned} X_{12} &= X_1 X_2 \Sigma Y \\ X_{23} &= X_2 X_3 \Sigma Y \\ X_{34} &= X_3 X_4 \Sigma Y \\ &\vdots \end{aligned}$ <p>式中, <math>\Sigma Y = 1/X_1 + 1/X_2 + 1/X_3 + 1/X_4</math></p>
		$\begin{aligned} X_1 &= 1/(1/X_{12} + 1/X_{13} + 1/X_{14} + X_{23}/X_{12}X_{24}) \\ X_2 &= 1/(1/X_{12} + 1/X_{23} + 1/X_{24} + X_{13}/X_{12}X_{23}) \\ X_3 &= 1/(1/X_{13} + 1/X_{23} + 1/X_{34} + X_{12}/X_{13}X_{23}) \\ X_4 &= 1/(1/X_{14} + 1/X_{24} + 1/X_{34} + X_{12}/X_{14}X_{24}) \end{aligned}$

在简化短路电路过程中,如果各电路元件的电阻均需计入,则简化过程比较复杂。

当电路元件为串联时,则总电抗和总电阻分别计算

$$\begin{aligned} X_{\Sigma} &= X_1 + X_2 + \cdots \quad (\Omega) \\ R_{\Sigma} &= R_1 + R_2 + \cdots \quad (\Omega) \end{aligned} \tag{4.3-8}$$

当两个电路元件并联时,若两个并联元件的电阻与电抗的比值比较接近时,则并联电路的总电阻和总电抗可按并联公式分别计算

当  $R_1/X_1 \approx R_2/X_2$  时,则

$$\begin{aligned} X_{\Sigma} &= X_1 X_2 / (X_1 + X_2) \quad (\Omega) \\ R_{\Sigma} &= R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \quad (\Omega) \end{aligned} \tag{4.3-9}$$

在化简很复杂的网络中,常常用到多支路星-网变换。有时它不仅可以使网络迅速简化,而且是化简网络所必需的。图 4.3-2 示出了一个多支路星形及与它对应的网形网络。令  $X_m$  和  $X_n$  为星形网络中接到  $m$  和  $n$  点各支路的电抗,根据网络等效的理论,可知网形网络中  $m$  和  $n$  点间直接连接的支路电抗  $X_{mn}$  为

$$X_{mn} = X_m X_n \Sigma Y \tag{4.3-10}$$

式中,  $\Sigma Y$  为接到星形中心点各支路的电纳之和,  $\Sigma Y = 1/X_1 + 1/X_2 + \cdots + 1/X_m + 1/X_n$ 。

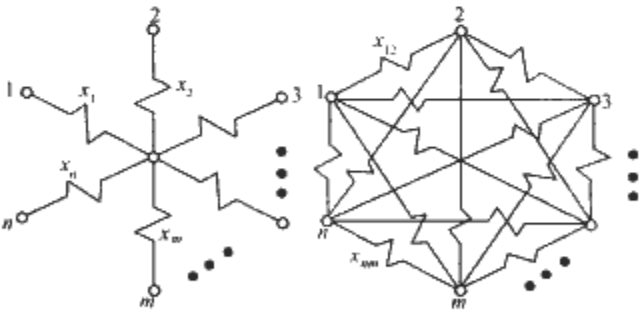


图 4.3-2 星形网络变换成网形网络

### 3 高压网络电路元件的阻抗的计算

#### 3.1 同步电机

同步电机的阻抗参数由电机制造厂提供。若缺少数据时,在近似计算中可采用表 4.3-4 中所列的各类同步电机电抗平均值。

表 4.3-4 各类同步电机的电抗平均值

序号	同步电机类型	$X_d'$ 或 $X_{(1)}$ (%)	$X_{(2)}$ (%)	$X_{(0)}$ (%)
1	汽轮发电机	$\leq 50\text{MW}$	14.5	17.5
		100~125MW	17.5	21.0
		200MW	14.5	17.5
		300MW	17.2	19.8
2	水轮发电机	无阻尼绕组时	29.0	45.0
		有阻尼绕组时	21.0	21.5
3	同步调相机	16.0	16.5	8.5
4	同步电动机	15.0	16.0	8.0

注  $X_{(1)}$ 、 $X_{(2)}$ 、 $X_{(0)}$  表示正序电抗相对值、负序电抗相对值、零序电抗相对值。

#### 3.2 异步电动机

高、低压异步电动机的超瞬态电抗相对值  $X_d''$  可按下式计算

$$X_d'' = 1/k_{qM} \tag{4.3-11}$$

式中,  $k_{qM}$  为异步电动机的起动电流倍数,由产品样本查取。

#### 3.3 电力变压器

三相双绕组电力变压器的电抗标幺值可按表 4.3-2 中有关公式计算。表 4.3-5 列出了常用规格三相双绕组变压器的电抗标幺值 ( $S_N = 100\text{MVA}$ )。

三相三绕组电力变压器每个绕组的电抗百分值按下列公式计算

$$\left. \begin{aligned} X_1 \% &= (1/2)(u_{k12} \% + u_{k13} \% - u_{k23} \%) \\ X_2 \% &= (1/2)(u_{k12} \% + u_{k23} \% - u_{k13} \%) \\ X_3 \% &= (1/2)(u_{k13} \% + u_{k23} \% - u_{k12} \%) \end{aligned} \right\} \tag{4.3-12}$$

式中,  $u_{k12} \%$ 、 $u_{k13} \%$ 、 $u_{k23} \%$  为每对绕组的阻抗电压百分值,其间相互关系如图 4.3-3 所示。

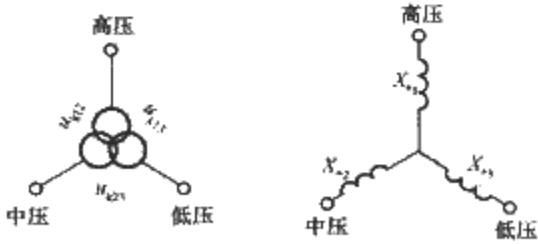


图 4.3-3 三相三绕组变压器等效变换

110kV 级 6300~25 000kVA、三相三绕组电力变压器每个绕组的电抗标幺值见表 4.3-6。

表 4.3-5 三相双绕组电力变压器的电抗标么值

变压器容量 (kVA)	阻抗电压 (%)	$S_j=100\text{MVA}$ 时电抗标么值	变压器容量 (kVA)	阻抗电压 (%)	$S_j=100\text{MVA}$ 时电抗标么值
35/10.5 (6.3) kV			10/6.3 (3.15) kV		
1000	6.5	6.50	200	4	20.00
1250		5.20	250		16.00
1600		4.06	315		12.70
2000		3.25			
2500		2.60			
3150	7	2.22	400	4.5	10.00
4000		1.75	500		8.00
5000		1.40	630		8.73
6300	7.5	1.19	800		6.88
8000		0.94			
10 000		0.75			
12 500	8	0.64	1000	5.5	5.50
16 000		0.50	1250		4.40
20 000		0.40	1600		3.44
110/10.5 (6.3) kV			2000		2.75
6300	10.5	1.67	2500		2.20
8000		1.31	3150		1.75
10 000		1.05	4000		1.38
12 500		0.84	5000		1.10
16 000		0.66	6300		0.87
20 000		0.53			
25 000		0.42			

表 4.3-6 110kV 三相三绕组电力变压器的电抗标么值

变压器容量 (kVA)			6300	8000	10 000	12 500	16 000	20 000	25 000	变压器容量 (kVA)	
按阻抗电压 $u_k\%$ 的第一 种组合方式 (升压变)	阻抗电压 $u_k\%$	高中	17	17.5	17	18	18	18	18	高低	按阻抗电压 $u_k\%$ 的第二 种组合方式 (降压变)
		高低	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	高中	
		中低	6	6.5	6	6.5	6.5	6.5	6.5	中低	
	绕组电抗 $x_k(\%)$	高压	10.75	10.75	10.75	11	11	11	11	高压	
		中压	6.25	6.75	6.25	7	7	7	7	中压	
		低压	-0.25	-0.25	-0.25	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	低压	
	$S_j=100\text{MVA}$ 时绕组电抗 标么值 $X_*$	高压	1.706	1.344	1.075	0.880	0.688	0.550	0.440	高压	
		中压	0.992	0.844	0.625	0.560	0.438	0.350	0.280	中压	
		低压	-0.040	-0.031	-0.025	-0.04	-0.031	-0.025	-0.02	低压	
	高中	17	17.5	17	18	18	18	18	18	高低	

续表

3.4 电抗器

电抗器的电抗标么值及有名值计算见表 4.3-2 和表 4.3-7。

3.5 高压线路

对计算要求不十分精确时,可采用表 4.3-8 所列各种线路电抗的近似值。如要求较精确,则可查表 4.3-9~表 4.3-12。

表 4.3-7 NKL 型铝线水泥电抗器的电抗

额定电流 $I_r$ (A)	6kV		
	额定电抗 $X_r$ (%)	电抗标么值 $X_*$ $U_j=6.3\text{kV}$ $S_j=100\text{MVA}$	电抗 $X$ ( $\Omega$ )
150	3	1.745 6	0.692 8
	4	2.327 4	0.923 8
	5	2.909 3	1.154 7
	6	3.491 2	1.385 6
	8	4.654 9	1.847 5
	10	5.818 6	2.309 4

额定电流 $I_r$ (A)	6kV		
	额定电抗 $X_r$ (%)	电抗标么值 $X_*$ $U_j=6.3\text{kV}$ $S_j=100\text{MVA}$	电抗 $X$ ( $\Omega$ )
200	3	1.309 2	0.519 6
	4	1.745 6	0.692 8
	5	2.182 0	0.866 0
	6	2.618 4	1.039 2
	8	3.491 2	1.385 6
	10	4.363 9	1.732 0
300	3	0.872 8	0.346 4
	4	1.163 7	0.461 9
	5	1.454 6	0.577 4
	6	1.745 6	0.692 8
	8	2.327 4	0.923 8
	10	2.909 3	1.154 7

续表

额定电流 $I_r$ (A)	6kV		
	额定电抗 $X_r$ (%)	电抗标么值 $X_*$ $U_j=6.3\text{kV}$ $S_j=100\text{MVA}$	电抗 $X$ ( $\Omega$ )
400	3	0.654 6	0.259 8
	4	0.872 8	0.346 4
	5	1.091 0	0.433 0
	6	1.309 2	0.519 6
	8	1.745 6	0.692 8
	10	2.182 0	0.866 0
500	3	0.523 7	0.207 8
	4	0.698 2	0.277 1
	5	0.872 8	0.346 4
	6	1.047 3	0.415 7
	8	1.396 5	0.554 3
	10	1.745 6	0.692 8
600	4	0.581 9	0.230 9
	5	0.727 3	0.288 7
	6	0.872 8	0.346 4
	8	1.163 7	0.461 9
750	4	0.465 5	0.184 8
	5	0.581 9	0.230 9
	6	0.692 8	0.277 1
	8	0.931 0	0.369 5
1000	4	0.349 1	0.138 6
	5	0.436 4	0.173 2
	6	0.523 7	0.207 8
	8	0.698 2	0.277 1
	10	0.872 8	0.346 4
1500	6	0.349 1	0.138 6
	8	0.465 5	0.184 8
	10	0.581 9	0.230 9
2000	6	0.261 8	0.103 9
	8	0.349 1	0.138 6
	10	0.436 4	0.173 2
3000	10	0.290 9	0.115 5

额定电流 $I_r$ (A)	10kV		
	额定电抗 $X_r$ (%)	电抗标么值 $X_*$ $U_j=10.5\text{kV}$ $S_j=100\text{MVA}$	电抗 $X$ ( $\Omega$ )
150	3	1.047 3	1.154 7
	4	1.396 5	1.539 6
	5	1.745 6	1.928 9
	6	2.094 7	2.309 4
	8	2.792 9	3.079 2
200	3	0.785 5	0.866 0
	4	1.047 3	1.154 7
	5	1.309 2	1.443 4
	6	1.571 0	1.732 0
	8	2.094 7	2.309 4
	10	2.618 4	2.886 7

续表

额定电流 $I_r$ (A)	10kV		
	额定电抗 $X_r$ (%)	电抗标么值 $X_*$ $U_j=10.5\text{kV}$ $S_j=100\text{MVA}$	电抗 $X$ ( $\Omega$ )
300	3	0.523 7	0.577 4
	4	0.698 2	0.769 8
	5	0.872 8	0.962 3
	6	1.047 3	1.154 7
	8	1.396 5	1.539 6
	10	1.745 6	1.928 9
400	3	0.392 6	0.433 0
	4	0.523 7	0.577 4
	5	0.654 6	0.721 7
	6	0.785 5	0.866 0
	8	1.047 3	1.154 7
	10	1.309 2	1.443 4
500	3	0.314 2	0.346 4
	4	0.418 9	0.461 9
	5	0.523 7	0.577 4
	6	0.628 4	0.692 8
	8	0.837 9	0.923 8
600	4	0.349 1	0.384 9
	5	0.436 4	0.481 1
	6	0.523 7	0.577 4
	8	0.698 2	0.769 8
	10	0.872 8	0.962 3
750	5	0.349 1	0.384 9
	6	0.418 9	0.461 9
	8	0.558 6	0.615 8
	10	0.698 2	0.769 8
1000	5	0.261 8	0.288 7
	6	0.314 2	0.346 4
	8	0.418 9	0.461 9
	10	0.523 7	0.577 4
1500	6	0.209 5	0.230 9
	8	0.279 3	0.307 9
	10	0.349 1	0.384 9
2000	8	0.209 5	0.230 9
	10	0.261 8	0.288 7

表 4.3-8 高压线路每千米电抗近似值

线路种类	标称电压 $U_n$ (kV)	电抗 $X$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$S_j=100\text{MVA}$ 时, 电抗标么值 $X_*$
电缆线路	6	0.07	0.176
	10	0.08	0.073
	35	0.12	0.009
架空线路	6	0.35	0.882
	10	0.35	0.317
	35	0.40	0.029
	110	0.40	0.003

注 计算电抗标么值时,所采用的基准电压  $U_j$  分别为 6.3kV、10.5kV、37kV、115kV。

表 4.3-9 6kV 和 10kV 交联聚乙烯绝缘三芯电力电缆每千米阻抗

标称 截面积 (mm <sup>2</sup> )	t=90℃时 线芯交流电阻 R (Ω/km)		6kV				10kV			
			电抗 X (Ω/km)	U <sub>j</sub> =6.3kV、S <sub>j</sub> =100MVA 时 电阻和电抗标么值			电抗 X (Ω/km)	U <sub>j</sub> =10.5kV、S <sub>j</sub> =100MVA 时 电阻和电抗标么值		
				R*		X*		R.		X.
	铝	铜		铝	铜					
16	2.301	1.404	0.124	5.799	3.538	0.312	0.133	2.094	1.278	0.121
25	1.473	0.898	0.111	3.712	2.263	0.280	0.120	1.340	0.817	0.109
35	1.052	0.642	0.105	2.651	1.618	0.264	0.113	0.957	0.584	0.103
50	0.736	0.449	0.099	1.855	1.131	0.249	0.107	0.670	0.409	0.097
70	0.526	0.321	0.093	1.326	0.809	0.236	0.101	0.479	0.292	0.091
95	0.388	0.236	0.089	0.978	0.595	0.225	0.096	0.353	0.215	0.087
120	0.307	0.187	0.087	0.774	0.471	0.219	0.095	0.279	0.170	0.087
150	0.245	0.150	0.085	0.617	0.378	0.214	0.093	0.223	0.137	0.084
185	0.199	0.121	0.082	0.501	0.305	0.208	0.090	0.181	0.110	0.082
240	0.153	0.094	0.080	0.386	0.237	0.202	0.087	0.139	0.086	0.079

表 4.3-10 35kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆每千米阻抗

标称截面积 (mm <sup>2</sup> )	35kV					
	$t=75^{\circ}\text{C}$ 时线芯交流电阻 $R$ ( $\Omega/\text{km}$ )		电抗 $X$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$U_j=115\text{kV}$ 、 $S_j=100\text{MVA}$ 时 电阻和电抗标么值		
				$R^*$		$X^*$
				铝	铜	
3×50	0.702	0.428	0.137	0.051 2	0.031 3	0.010 0
3×70	0.500	0.305	0.128	0.036 5	0.022 3	0.009 3
3×95	0.370	0.225	0.121	0.027 0	0.016 4	0.008 8
3×120	0.292	0.178	0.116	0.021 3	0.013 0	0.008 5
3×150	0.234	0.143	0.112	0.017 1	0.010 4	0.008 2
3×185	0.189	0.116	0.109	0.013 8	0.008 5	0.008 0
3×240	0.146	0.090	0.104	0.010 7	0.006 6	0.007 6
3×300	0.117	0.072	0.103	0.008 5	0.005 3	0.007 5
3×400	0.088	0.054	0.103	0.006 4	0.003 9	0.007 5

表 4.3-11 6kV 和 10kV 架空线路每千米阻抗

标称 截面积 (mm <sup>2</sup> )	t=70℃时交流电阻						线间几何均距 D <sub>j</sub> =1000mm 时电抗			线间几何均距 D <sub>j</sub> =1250mm 时电抗		
	R (Ω/km)		S <sub>j</sub> =100MVA 的标么值 R。				X (Ω/km)	S <sub>j</sub> =100MVA 的标么值 X。		X (Ω/km)	S <sub>j</sub> =100MVA 的标么值 X。	
			U <sub>j</sub> =6.3kV		U <sub>j</sub> =10.5kV			U <sub>j</sub> =6.3kV	U <sub>j</sub> =10.5kV		U <sub>j</sub> =6.3kV	U <sub>j</sub> =10.5kV
	铝	铜	铝	铜	铝	铜						
16	2.16	1.32	5.44	3.32	1.96	1.20	0.39	0.98	0.35	0.41	1.03	0.37
25	1.38	0.84	3.48	2.12	1.26	0.77	0.38	0.96	0.34	0.39	0.98	0.35
35	0.99	0.60	2.49	1.52	0.90	0.55	0.37	0.93	0.34	0.38	0.96	0.34
50	0.69	0.42	1.74	1.06	0.63	0.38	0.36	0.91	0.33	0.37	0.93	0.34
70	0.49	0.30	1.24	0.76	0.45	0.27	0.35	0.88	0.32	0.36	0.91	0.33
95	0.36	0.22	0.92	0.56	0.33	0.20	0.34	0.86	0.31	0.35	0.88	0.32
120	0.29	0.18	0.73	0.44	0.26	0.16	0.33	0.83	0.30	0.34	0.86	0.31
150	0.23	0.14	0.58	0.35	0.21	0.13	0.32	0.81	0.29	0.34	0.86	0.31
185	0.19	0.11	0.47	0.29	0.17	0.10	0.31	0.78	0.28	0.33	0.83	0.30
240	0.14	0.09	0.36	0.22	0.13	0.08	0.31	0.78	0.28	0.32	0.81	0.29

表 4.3-12

35kV 和 110kV LGJ 系列架空线路每千米阻抗

标称截面积 (mm <sup>2</sup> )	$t=70^{\circ}\text{C}$ 时 交流电阻 $R$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$U_j=37\text{kV}$ 、 $D_j=3000\text{mm}$			$U_j=115\text{kV}$ 、 $D_j=5000\text{mm}$		
		电 抗	$S_j=100\text{MVA}$ 时标么值		电 抗	$S_j=100\text{MVA}$ 时标么值	
		$X$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$R_*$	$X_*$	$X$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$R_*$	$X_*$
35	0.99	0.43	0.07	0.031			
50	0.69	0.42	0.05	0.031			
70	0.49	0.41	0.04	0.030	0.44	0.004	0.003
95	0.36	0.40	0.03	0.029	0.43	0.003	0.003
120	0.29	0.39	0.02	0.028	0.42	0.002	0.003
150	0.23	0.39	0.02	0.028	0.42	0.002	0.003
185	0.19	0.38	0.01	0.028	0.41	0.001	0.003
240	0.14	0.37	0.01	0.027	0.40	0.001	0.003

## 4 高压网络的短路电流计算

### 4.1 计算条件

1) 电力系统中所有发电机电势相角都相同。不考虑在短路过程中发电机间的摇摆现象对短路电流的影响, 算出故障点的短路电流要比计及发电机相角差的实际的短路电流大。

2) 电力系统中各元件的磁路不饱和, 即各元件的参数不随电流而变化, 因此在计算过程中可以应用重叠原理。

3) 电力系统各元件的电阻都略去不计。只在计算非周期分量的衰减时间常数时, 才计及电阻的作用。此外当短路发生在电缆线路或低压网络时, 由于  $R$  对  $X$  的比值大, 则应计及电阻, 但可不用复阻抗, 而用阻抗的绝对值  $Z$  ( $Z=\sqrt{R^2+X^2}$ ) 进行计算。

4) 电路的电感和变压器的励磁电流略去不计。

5) 对于同类型的发电机, 当它们对短路点的电气距离比较接近时, 则假定它们的超瞬态电势的大小和变化规律相同。因此可以用超瞬态网络 (发电机用超瞬态电抗  $X_d''$  来代表) 进行网络化简, 并将这些发电机合并成一台等值发电机。

6) 电力系统为对称的三相系统。负荷只作近似的估计, 并用恒定阻抗来代表。

7) 发电机在额定运行状态下发生突然三相短路。故障点没有任何阻抗, 即发生金属性短路。

此外短路前三相系统是正常运行情况下的接线方式, 不考虑仅在切换过程中短时出现的接线方式。

### 4.2 远离发电机端的三相短路电流周期分量的计算

远离发电机端的 (无限大电源容量的) 网络发生短路时, 即以电源容量为基准的计算电抗  $X_{js} \geq 3$  时, 短路电流周期分量在整个短路过程中不发生衰减, 即  $I''=I_{0.2}=I_k$ , 如图 4.3-1 (a) 所示。其计算方法如下。

(1) 用标么值计算

用标么值计算时, 三相短路电流初始值  $I_k'$  按下式计算

$$I_{*k}=S_{*k}=I''_*=1/X_{*js} \quad (4.3-13)$$

$$I_k'=I_{*k}I_j=I''_* I_j=I_j/X_{*js} \quad (4.3-14)$$

$$S_k=S_{*k}S_j=I_{*k}S_j=I''_* S_j=S_j/X_{*js} \quad (4.3-15)$$

式中,  $I_{*k}$  为短路电流周期分量有效值的标么值;  $S_{*k}$  为短

路容量标么值;  $X_{*js}$  为短路电路总电抗 (计算电抗) 标么值;  $I_k'$  为短路电流初始值, kA;  $S_k$  为短路容量, MVA;  $I_j$  为基准电流, kA;  $S_j$  为基准容量, MVA。

(2) 用有名单位制计算

用有名单位制计算时, 三相短路电流初始值  $I_k'$  按下式计算

$$I_k=I_k'=U_p/\sqrt{3}X_{js} \quad (4.3-16)$$

如果  $R_{js} > (1/3) X_{js}$ , 则应计入有效电阻  $R_{js}$ ,  $I_k$  值应按下式计算

$$I_k=I_k'=U_p/\sqrt{3}Z_{js}=U_p/\sqrt{3}\sqrt{R_{js}^2+X_{js}^2} \quad (4.3-17)$$

式中,  $U_p$  为短路点所在级的网络平均电压, kV, 见表 4.3-1;  $Z_{js}$  为短路电路总阻抗,  $\Omega$ ;  $R_{js}$  为短路电路总电阻,  $\Omega$ ;  $X_{js}$  为短路电路总电抗,  $\Omega$ 。

远离发电机端短路时 10~110kV 级常用变压器低压侧三相短路的短路容量见表 4.3-13。

### 4.3 靠近发电机端的三相短路电流周期分量的计算

(1) 按公式计算

靠近发电机端或有限电源容量的网络发生短路的主要特点是: 电源母线上的电压在短路发生后的整个过渡过程不能维持恒定, 短路电流周期分量  $i_z$  随之变化, 如图 4.3-1 (b) 所示, 电源的内阻抗不能忽略不计。

短路电流的变化与发电机的参数及电压自动调整装置的特性有关。因同步电机的转子绕组 (等效阻尼绕组及励磁绕组) 的磁链在突然短路瞬间不能突变, 与转子绕组的磁链成正比的超瞬态电势  $E''$ , 在突然短路瞬间仍保持短路前的数值, 因此短路电流周期分量的起始值, 即超瞬态短路电流有效值  $I''$ , 可利用下式直接计算

对于汽轮发电机

$$I''=E''/[\sqrt{3}(X_d''+X_w)] \quad (4.3-18)$$

或

$$I''=I_j/(X_d''+X_{*w}) \quad (4.3-19)$$

对于水轮发电机

$$I''=KE''/[\sqrt{3}(X_d''+X_w)]=KI_j/(X_d''+X_{*w})$$

$$(4.3-20)$$



式中,  $I_j$  为基准电流, kA;  $E''$  为发电机超瞬态电动势, 工程计算中可认为  $E'' \approx U_{G\text{G}}$ , kV;  $U_{G\text{G}}$  为发电机额定电压, kV,  $U_{G\text{G}} = 1.05U_n$ ;  $U_n$  为系统标称电压, kV;  $X''_d$  为发电机超瞬态电抗,  $\Omega$ ;  $X_w$  为自发电机出口至短路点间的短路电路电抗,  $\Omega$ ;  $X''_{\text{d}}$ 、 $X_w$  为以发电机额定总容量  $S_{n\text{G}}$

为基准容量的  $X''_d$  标么值和  $X_w$  标么值;  $K$  为考虑到水轮发电机的超瞬态电抗  $X''_d$  值比较大而引入的计算系数, 见表 4.3-14。

计算中将  $E'' \approx U_{G\text{G}}$ ,  $U_{G\text{G}} = 1.05U_n$ , 则  $E'' = \text{常数}$ , 因此按公式计算误差较大。

表 4.3-13 远离发电机端短路时 10~110kV 级常用变压器低压侧三相短路的短路容量

变压器容量 (kVA)	阻抗电压 (%)	变压器高压侧短路容量 (kVA)									
		30	50	75	100	150	200	250	300	500	∞
35/10.5 (6.3) kV											
1000	6.5	10.17	11.76	12.76	13.33	13.95	14.28	14.49	14.63	14.92	15.38
1250		11.72	13.89	15.31	16.13	17.04	17.54	17.86	18.07	18.52	19.23
1600		13.52	16.50	18.54	19.76	21.15	21.92	22.41	22.75	23.46	24.62
2000		15.19	19.05	21.82	23.53	25.53	26.67	27.40	27.91	28.99	30.77
2500		16.85	21.74	25.42	27.78	30.61	32.26	33.33	34.09	35.71	38.46
3150	7	18.00	23.68	28.12	31.03	34.62	36.73	38.14	39.13	41.28	45.00
4000		19.67	26.67	32.43	36.36	41.38	44.44	46.51	48.00	51.28	57.14
5000		21.13	29.41	36.59	41.67	48.39	52.63	55.56	57.70	62.50	71.43
6300	7.5	22.11	31.34	39.62	45.65	53.85	59.15	62.87	65.62	71.92	84.00
8000		23.41	34.04	44.04	51.61	62.34	69.57	74.77	78.69	87.91	106.67
10 000		24.49	36.36	48.00	57.14	70.59	80.00	86.96	92.31	105.26	133.33
12 500	8	25.17	37.88	50.68	60.98	76.53	87.72	96.15	102.74	119.05	156.25
16 000		26.09	40.00	54.55	66.67	85.71	100.00	111.11	120.00	142.86	200.00
20 000		30.00	41.67	57.69	71.43	93.75	111.11	125.00	136.36	166.67	250.00
110/10.5 (6.3) kV											
6300	10.5	20.00	27.27	33.33	37.50	42.86	46.15	48.39	50.00	53.57	60.00
8000		21.52	30.19	37.80	43.24	50.53	55.17	58.39	60.76	66.12	76.19
10 000		22.81	32.79	41.96	48.78	58.25	64.52	68.97	72.29	80.00	95.24
12 500		23.96	35.21	46.01	54.35	66.37	74.63	80.65	85.23	96.16	119.05
16 000		25.07	37.65	50.26	60.38	75.59	86.49	94.67	101.05	116.79	152.38
20 000		25.92	39.60	53.81	65.57	83.92	97.56	108.11	116.51	137.93	190.48
25 000		26.64	41.32	57.03	70.42	92.03	108.70	121.95	132.74	161.29	238.10
31 500		27.27	42.86	60.00	75.00	100.00	120.00	136.36	150.00	187.50	300.00
40 000		27.81	44.20	62.66	79.21	107.62	131.15	150.94	167.83	216.22	380.95
10/6.3 (3.15) kV											
200	4	4.29	4.55	4.69	4.76	4.84	4.88	4.90	4.92	4.95	5.00
250		5.17	5.56	5.77	5.88	6.00	6.06	6.10	6.12	6.17	6.25
315		6.24	6.81	7.13	7.30	7.49	7.58	7.64	7.68	7.76	7.88
400		7.50	8.33	8.82	9.09	9.38	9.52	9.62	9.68	9.80	10.00
500		8.82	10.00	10.71	11.11	11.54	11.76	11.90	12.00	12.20	12.50
630	4.5	8.29	9.32	9.93	10.27	10.64	10.83	10.95	11.03	11.19	11.45
800		9.8	11.27	12.19	12.70	13.26	13.56	13.75	13.88	14.14	14.55
1000	5.5	11.32	13.33	14.63	15.38	16.21	16.67	16.95	17.14	17.54	18.18
1250		12.93	15.63	17.44	18.52	19.74	20.41	20.84	21.13	21.74	22.73
1600		14.77	18.39	20.96	22.53	24.36	25.40	26.06	26.52	27.49	29.09
2000		16.44	21.05	24.49	26.66	29.27	30.77	31.74	32.43	33.90	36.36
2500		18.07	23.81	28.30	31.25	34.88	37.03	38.46	39.47	41.66	45.45
3150		19.69	26.69	32.47	36.42	41.45	44.52	46.60	48.09	51.38	57.27
4000		21.24	29.63	36.92	42.11	48.98	53.33	56.34	58.54	63.49	72.73
5000		22.56	32.26	41.10	47.62	56.60	62.50	66.67	69.77	76.92	90.91
6300		23.77	34.81	45.32	53.39	64.95	72.83	78.56	82.90	93.20	114.55

注 1. 本表数据按下式计算而得

$$S_{k2} = S_{k1} S_k / (S_{k1} + S_k)$$

式中,  $S_{k2}$  为变压器低压侧三相短路的短路容量, MVA;  $S_{k1}$  为变压器高压侧短路容量, MVA;  $S_k$  为变压器本身短路容量, MVA, 其值等于高压侧接入无限大电源容量时的低压侧短路容量, 即

$$S_k = 100 S_{rT} / u_k \%$$

式中,  $S_{rT}$  为变压器的额定容量, MVA;  $u_k \%$  为变压器阻抗电压百分值。

2. 粗线框以右部分为变压器低压侧发生短路时, 以变压器高压侧短路容量为基准的计算电抗  $X_{*js} \geq 3$  或以变压器高压侧短路容量为基准的变压器计算电抗  $X_{*js, T} \geq 2$ , 其计算式为

$$X_{*js} = S_j / S_{k1} + S_j / S_k = S_{k1} / S_{k1} + S_{k1} / S_k = 1 + S_{k1} / S_k = 1 + S_{k1} / (100 S_{rT} / u_k \%)$$
$$= 1 + (u_k \% / 100) / (S_{rT} / S_{k1})$$

$$X_{*js, T} = S_j / S_k = S_{k1} / S_k = S_{k1} / (100 S_{rT} / u_k \%) = (u_k \% / 100) / (S_{rT} / S_{k1})$$

表 4.3-14 水轮发电机的计算系数 K 值

发电机型式	$X''_{sd} + X_{sw} = X_{js}$ 为下列值时								
	0.2	0.27	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.5	$\geq 2$
无阻尼绕组		1.16	1.14	1.1	1.07	1.05	1.03	1.02	1
有阻尼绕组	1.11	1.07	1.07	1.05	1.03	1.02	1	1	1

(2) 按发电机运算曲线计算

用运算曲线计算周期分量是十分简便的。由于在制定运算曲线时计及了同步电机的过渡过程和负荷对周期分量的影响,因而也是比较准确的。用运算曲线计算周期分量的步骤如下:

1) 网络简化。根据计算条件,首先去掉系统中所有负荷、线路电容、并联电抗等,同时忽略系统各元件的电阻,发电机用超瞬态电抗  $X''_d$  来代表,将电气距离(对短路点而言)大致相等的,同类型的发电机合并为一台等值电机,用统一的基准容量(如1000MVA 或 100MVA)和平均额定电压(如 230kV、115kV、37kV 等)归算系统各元件电抗的标么值,进行网络简化,求得各电源对短路点的等值电抗。

2) 求计算用电抗  $X_{js}$ 。运算曲线  $I_{\Sigma} = f(X_{js}, t)$  的自变量  $X_{js}$ , 是以其相应发电机的额定容量为基准容量的标么电抗值。在使用运算曲线时,应将各电源对短路点的等值电抗归算到以本电源等值发电机的额定容量为基准容量的标么值,这个电抗称为计算用电抗  $X_{js}$ 。

3) 求  $t$  秒短路电流周期分量的标么值。根据求得的各个电源对短路点的  $X_{js}$ , 查相应的  $t$  秒运算曲线,即可求得周期分量的标么值。

4) 求  $t$  秒短路电流周期分量的有名值。由运算曲线查得的短路电流标么值  $I_*$  乘相应电源的基准电流  $I_{r,j}$  (由等值发电机的额定容量和相应的平均额定电压求得),即得到该分支短路电流周期分量的有名值

$$I_{\Sigma} = I_* I_{r,j} \quad (4.3-21)$$

发电机运算曲线如图 4.3-4~图 4.3-15 所示。

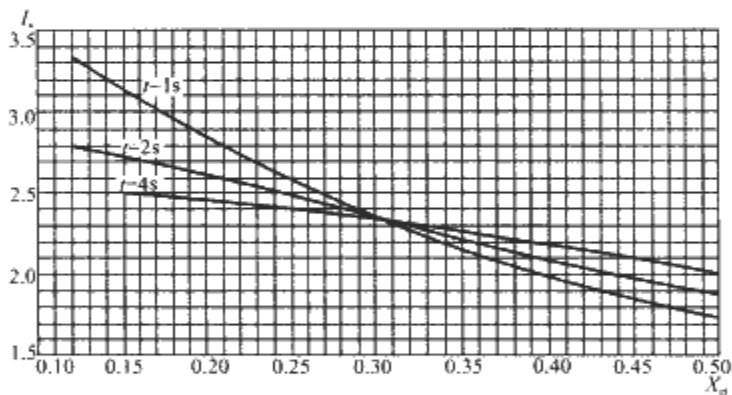


图 4.3-4 汽轮发电机运算曲线 (一)  
( $X_{js}=0.12\sim0.5$ ,  $t=0\sim1s$ )

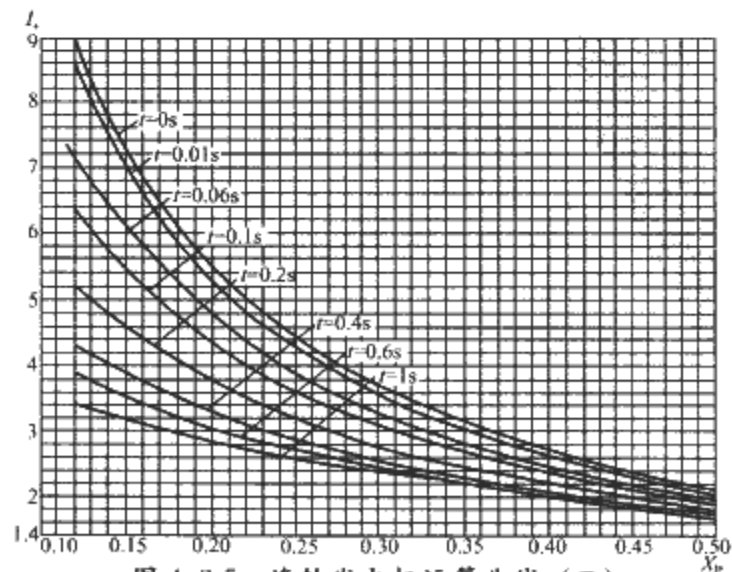


图 4.3-5 汽轮发电机运算曲线 (二)  
( $X_{js}=0.12\sim0.5$ ,  $t=1\sim4s$ )

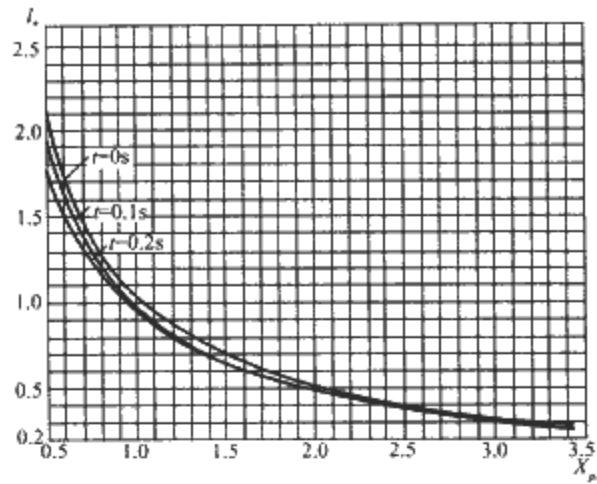


图 4.3-6 汽轮发电机运算曲线 (三)  
( $X_{js}=0.5\sim3.45$ ,  $t=0\sim0.2s$ )

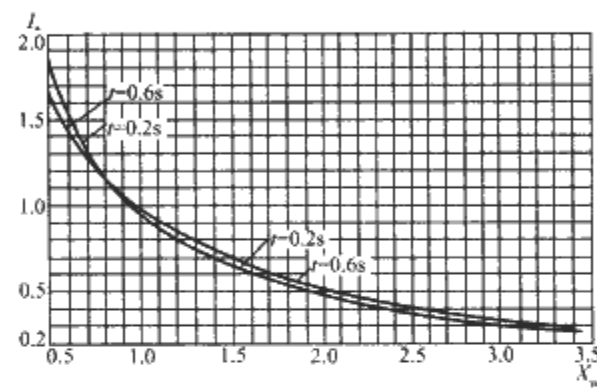


图 4.3-7 汽轮发电机运算曲线 (四)  
( $X_{js}=0.5\sim3.45$ ,  $t=0.2s, 0.6s$ )

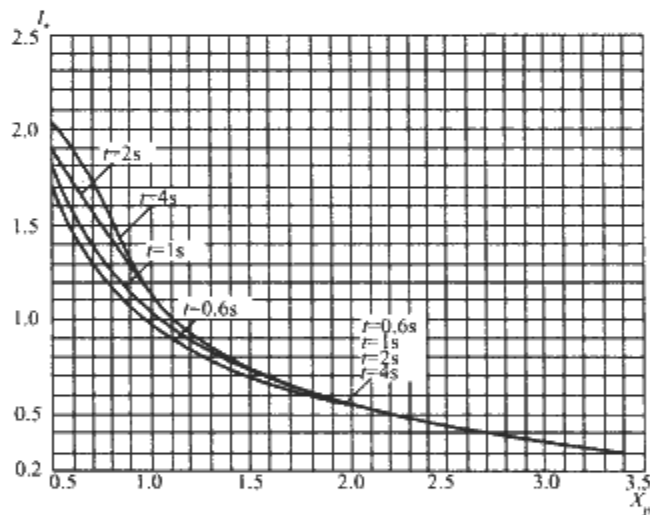


图 4.3-8 汽轮发电机运算曲线 (五)  
( $X_{js}=0.5\sim3.45$ ,  $t=0.6\sim4s$ )

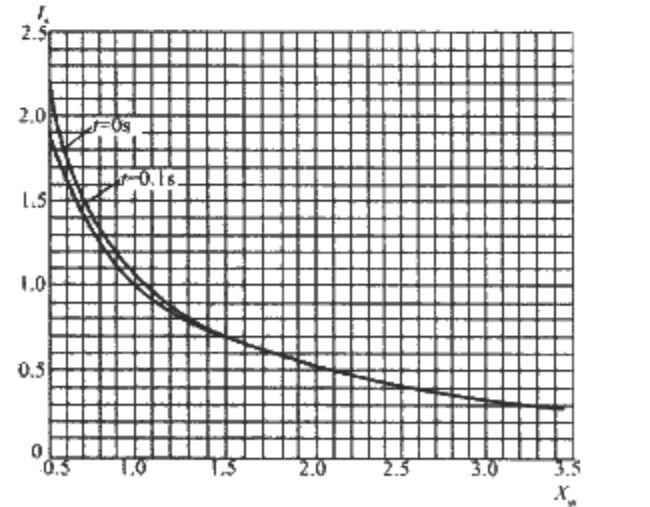


图 4.3-9 水轮发电机运算曲线 (一)  
( $X_{js}=0.5\sim3.5$ ,  $t=0s, 0.1s$ )

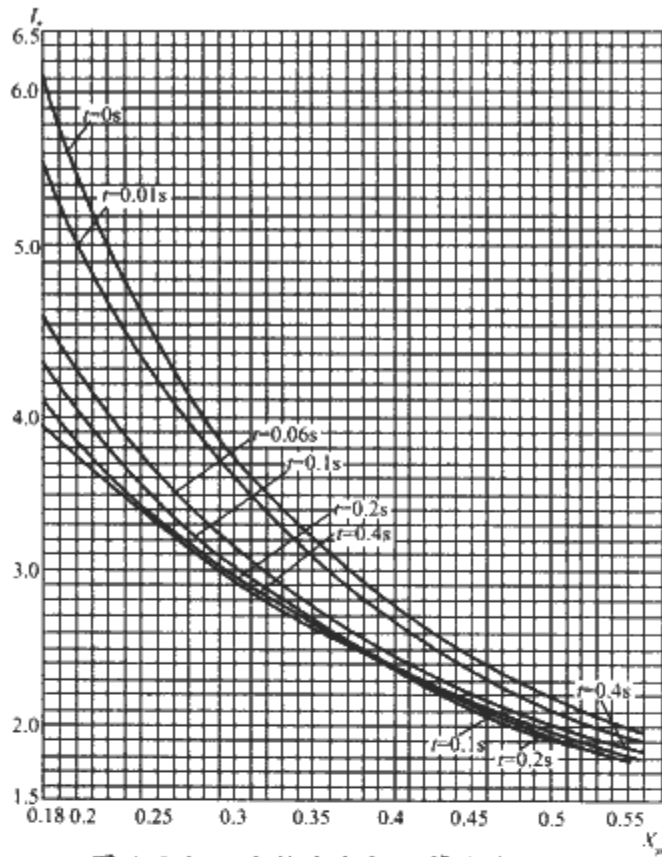


图 4.3-10 水轮发电机运算曲线 (二)  
( $X_{js}=0.18\sim0.56$ ,  $t=0\sim0.4s$ )

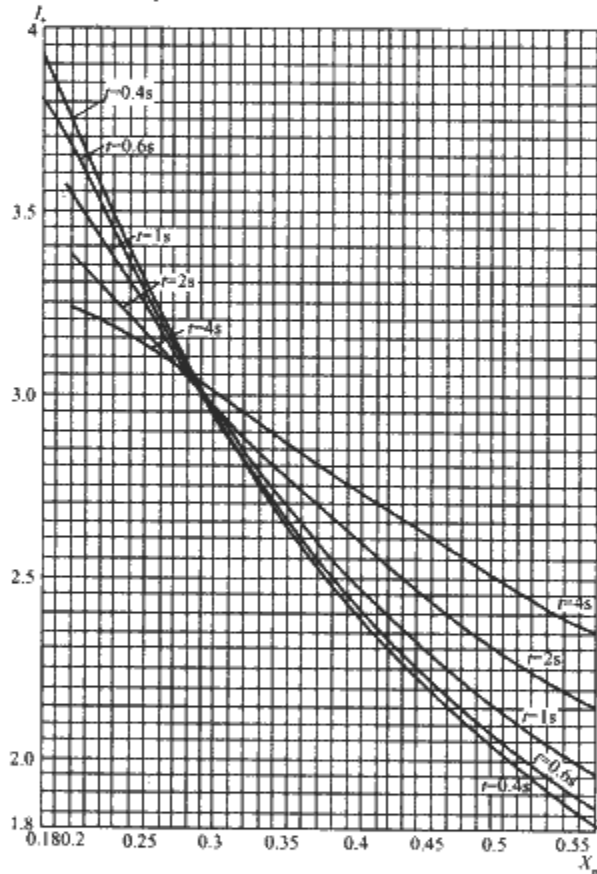


图 4.3-11 水轮发电机运算曲线 (三)  
( $X_{js}=0.18\sim0.56$ ,  $t=0.4\sim4s$ )

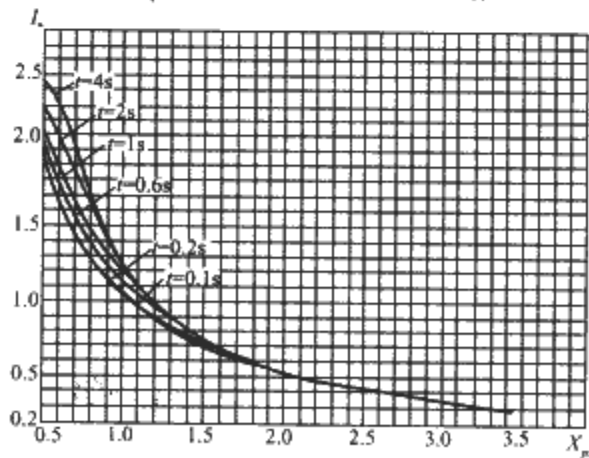


图 4.3-12 水轮发电机运算曲线 (四)  
( $X_{js}=0.5\sim3.5$ ,  $t=0.1\sim4s$ )

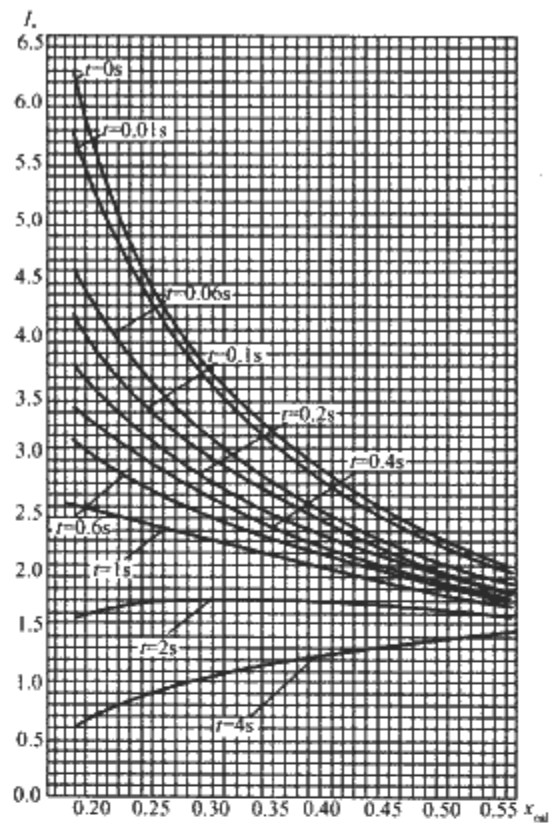


图 4.3-13 自并励水轮发电机运算曲线 (一)  
( $X_{js}=0.18\sim0.55$ )

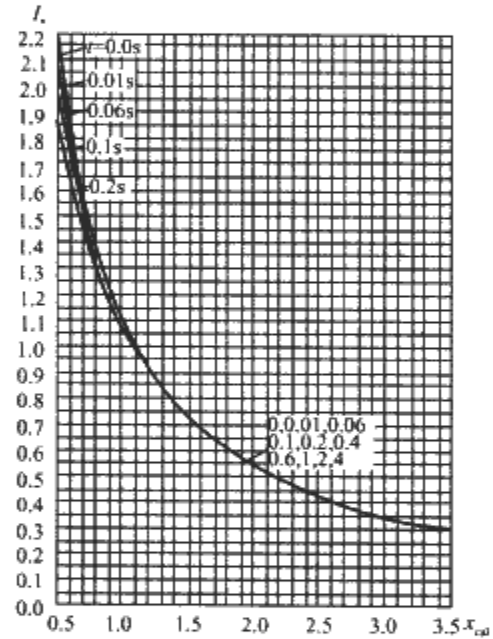


图 4.3-14 自并励水轮发电机运算曲线 (二)  
( $X_{js}=0.5\sim3.5$ )

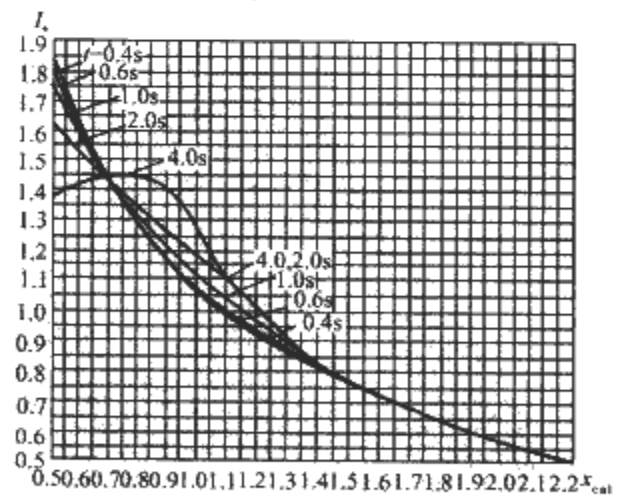


图 4.3-15 自并励水轮发电机运算曲线 (三)  
( $X_{js}=0.5\sim2.2$ )

5) 参数的差异所引起的周期分量的修正。当发电机的参数与“标准参数”有较大差别时,为提高计算的精确度,可对周期分量进行修正计算。同步发电机的标准参数见表 4.3-15。

表 4.3-15

同步发电机的标准参数

发电机类型	$X_d(B)$	$X'_d(B)$	$X''_d(B)$	$X_q(B)$	$X''_q(B)$	$T'_{d0}(B)/s$	$T''_{d0}(B)/s$	$T''_{q0}(B)/s$	$T_d(B)/s$	$T'_d(B)/s$	$T''_d(B)/s$	$\cos\varphi$
汽轮发电机	1.904 0	0.215 0	0.138 5	0.904 0	0.138 5	9.028 3	0.181 9	2.012 5	0.256 0	1.019 5	0.117 2	0.825
水轮发电机	0.985 1	0.302 5	0.205 5	0.642 3	0.225 7	5.900 0	0.067 3	0.158 1	0.212 4	1.811 7	0.045 7	0.850

如果实际电源的发电机的时间常数  $T$  与表 4.3-15 所示数值相差较大时, 则查曲线时应用修正后的短路时间。

当  $t \leq 0.06s$  时, 周期分量处于超瞬态过程, 可用换算过的时间  $t''$  代替实际短路时间  $t$  来查曲线, 以求得  $t$  秒的实际短路电流。 $t''$  的计算式为

$$t'' = T''_d(B)t/T'_d \quad (4.3-22)$$

当  $t > 0.06s$  时, 周期分量处于瞬态过程, 可用换算过的时间  $t'$  代替实际短路时间  $t$  来查曲线, 以求得  $t$  秒的实际短路电流。 $t'$  的计算式为

$$t' = T'_d(B)t/T'_d \quad (4.3-23)$$

式中,  $T'_d(B)$ 、 $T''_d$  为发电机的短路超瞬态时间常数,  $T'_d(B) = X'_d(B)T'_{d0}(B)/X_d(B)$ ,  $T''_d = X''_dT'_{d0}/X_d$ ;  $T'_{d0}(B)$ 、 $T''_{d0}$  为发电机的开路超瞬态时间常数;  $T'_d(B)$ 、 $T'_d$  为发电机的短路瞬态时间常数,  $T'_d(B) = X'_d(B)T'_{d0}(B)/X_d(B)$ ,  $T'_d = X'_dT'_{d0}/X_d$ ;  $T'_{d0}(B)$ 、 $T'_{d0}$  为发电机的开路瞬态时间常数;  $X'_d(B)$ 、 $X''_d$  为发电机的超瞬态电抗;  $X'_d(B)$ 、 $X'_d$  为发电机的瞬态电抗;  $X_d(B)$ 、 $X_d$  为发电机的同步电抗。

以上各式中带有标号(B)的是标准参数, 不带标号(B)的是发电机的实际参数。

#### 4.4 短路点由多个电源供电的三相短路电流周期分量的计算

当一个网络是由参数条件相差悬殊的多个电源供电, 则在绘制短路电流计算网络时, 应先将参数条件相近的电源合并, 分成几个等效电源组, 然后分别算出各等效电源组向短路点提供的短路电流, 最后将各组提供的短路电流相加, 即得到通过短路点的全部短路电流。

电源参数条件是指发电机型式、电源容量以及电源至短路点的阻抗大小等。图 4.3-16(a) 给出了多电源供电的例子。例中假设电源 1 和 2、3 和 4 的参数条件相近, 均为有限电源容量, 电源 5 为无限大电源容量。下面以计算短路点 K 的三相短路电流周期分量为例, 叙述计算步骤如下:

1) 先将各电源的内电抗  $X'_d$  和支路外电抗  $X_w$  按同一基准容量  $S_j$  (一般  $S_j = 100MVA$ ) 归算为标么值, 再将各电源及其所在的支路电抗合并成一个等效标么电抗  $X_*$ , 如图 4.3-16(b) 所示。

2) 将各电源按其参数条件分组合并, 电源  $S_{r1}$  和  $S_{r2}$  合并为  $S_{r\sum 1}$ , 电源  $S_{r3}$  和  $S_{r4}$  合并为  $S_{r\sum 2}$ ; 支路电抗  $X_{*1}$  和  $X_{*2}$  合并为  $X_{*11}$ ,  $X_{*3}$  和  $X_{*4}$  合并为  $X_{*21}$ ; 如图 4.3-16(c) 所示。

3) 消去公共支路电抗  $X_{*6}$ , 求出各组电源至短路点 K 之间的等效电抗, 如图 4.3-16(d) 所示, 其中

$$\left. \begin{aligned} X_{*12} &= X_{*2}/C_1 \\ X_{*22} &= X_{*2}/C_2 \\ X_{*52} &= X_{*2}/C_3 \end{aligned} \right\} \quad (4.3-24)$$

式中,  $X_{*2}$  为短路电路的总电抗, 且有

$$X_{*2} = X_{*11}X_{*21}X_{*5}/(X_{*11}X_{*21} + X_{*21}X_{*5} + X_{*5}X_{*11}) + X_{*6}$$

$C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  为分布系数

$$C_1 = X_{*21}X_{*5}/(X_{*11}X_{*21} + X_{*21}X_{*5} + X_{*5}X_{*11})$$

$$C_2 = X_{*11}X_{*5}/(X_{*11}X_{*21} + X_{*21}X_{*5} + X_{*5}X_{*11})$$

$$C_3 = X_{*11}X_{*21}/(X_{*11}X_{*21} + X_{*21}X_{*5} + X_{*5}X_{*11})$$

对于同一短路点, 应有  $C_1 + C_2 + C_3 = 1$ 。

4) 再将  $X_{*12}$  和  $X_{*22}$  分别归算到以  $S_{r\sum 1}$  和  $S_{r\sum 2}$  为基准容量的标么值  $X_{*js1}$  和  $X_{*js2}$ 。至于  $X_{*52}$ , 因为该支路由无限大电源容量供电, 故可不必换算, 取  $X_{*js3} = X_{*52}$ , 如图 4.3-16(e) 所示。

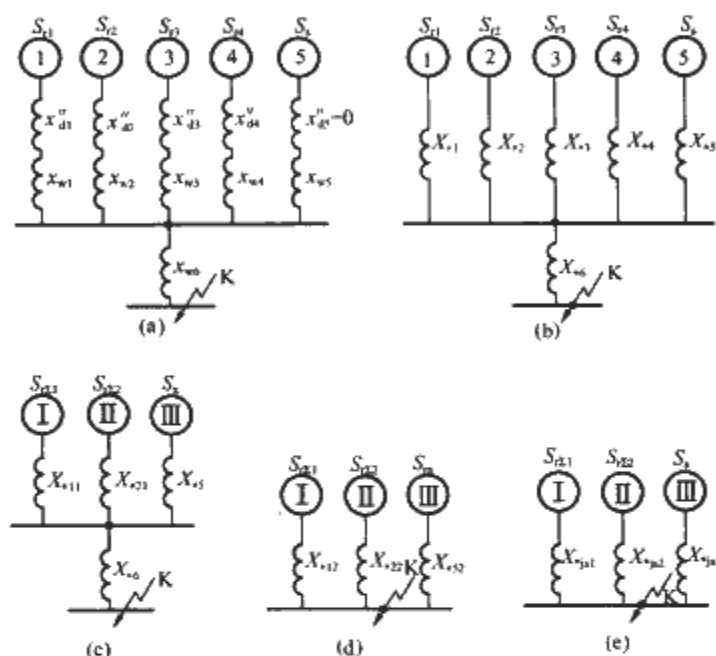


图 4.3-16 多电源网络短路电流计算

(a) 原等效网络; (b) 按同一基准容量归算后的等效网络; (c) 按参数条件分组合并后的等效网络; (d) 消去公共支路电抗后的等效网络; (e) 按各支路电源总容量归算后的等效电抗网络

5) 根据电源组 I 和 II 的发电机类型及其所在支路的标么值  $X_{*js1}$  和  $X_{*js2}$ , 即可从相应的运算曲线 (见图 4.3-4~图 4.3-15) 上查出某一时刻  $t$  由电源组 I 和 II 通过相应支路, 送到短路点的短路电流周期分量标么值  $I''_{*1}$  和  $I''_{*2}$ ; 支路 III 采用式 (4.3-13), 按无限大电源容量系统计算, 即

$$I''_{*3} = 1/X_{*js3}$$

6) 求出各组电源送到短路点的短路电流周期分量有效值  $I''_1$ 、 $I''_2$ 、 $I''_3$ 。此三路电流之和即为通过短路点 K 的全部短路电流  $I''_{\Sigma}$ , 即

$$I''_{\Sigma} = I''_1 + I''_2 + I''_3 \quad (4.3-25)$$

式中,  $I''_1 = I''_{*1}S_{r\sum 1}/\sqrt{3}U_j$ ;  $I''_2 = I''_{*2}S_{r\sum 2}/\sqrt{3}U_j$ ;  $I''_3 = I''_{*3}S_j/\sqrt{3}U_j = S_j/(\sqrt{3}U_jX_{*js3})$ 。

如果支路 I 或 II 的等效电抗标么值  $X_{*js} \geq 3$ , 则通过该支路的短路电流周期分量有效值  $I''$  在整个短路过渡过程可以认为不衰减, 可以按无限大电源容量系统考虑, 直接用公式算出, 即

$$I'' = S_{r\sum}/(\sqrt{3}U_jX_{*js}) \quad (4.3-26)$$

此例在计算到图 4.3-16(c) 电路时, 可用星形网络变换

成网形网络直接求出图 4.3-16(e) 电路计算电抗(电源之间计算电抗不考虑)。不必计算分支系数, 比较简便, 并适用于多个支路计算。

#### 4.5 三相短路冲击电流的计算和全电流最大有效值的计算

根据短路电流变化可知, 短路全电流  $i_k$  包含有周期分量  $i_z$  和非周期分量  $i_f$ 。短路电流非周期分量的起始值  $i_{f0} = \sqrt{2}I''$ , 短路冲击电流  $i_{ch}$  即为短路全电流最大瞬时值,  $I_{ch}$  为短路全电流最大有效值, 它出现在短路发生后的半周期(0.01s) 内的瞬间, 其值可按式计算

$$i_{ch} = K_{ch} \sqrt{2} I'' \quad (4.3-27)$$

$$I_{ch} = \sqrt{1 + 2(K_{ch} - 1)^2} I''$$

式中,  $K_{ch}$  为短路电流冲击系数,  $K_{ch} = 1 + e^{-0.01/T_f}$ ;  $T_f$  为短路电流非周期分量衰减时间常数(s), 当电网频率为 50Hz 时,  $T_f = X_\Sigma / 314 R_\Sigma$ ;  $X_\Sigma$  为短路电路总电抗,  $\Omega$ ;  $R_\Sigma$  为短路电路总电阻,  $\Omega$ ;

如果电路只有电抗, 则  $T_f = \infty$ ,  $K_{ch} = 2$ ; 如果电路只有电阻, 则  $T_f = 0$ ,  $K_{ch} = 1$ ; 可见  $2 \geq K_{ch} \geq 1$ 。

$K_{ch}$  与  $X_\Sigma / R_\Sigma$  的数值关系如图 4.3-17 所示的曲线。

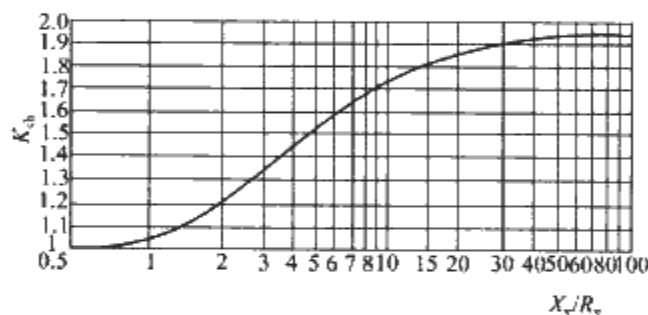


图 4.3-17 冲击系数  $K_{ch}$  与比值  $X_\Sigma / R_\Sigma$  的关系曲线

工程设计中  $K_{ch}$  的取值以及  $i_{ch}$  的计算值如下:

1) 当短路发生在发电机端时, 取  $K_{ch} = 1.9$ ,  $i_{ch} = 2.69 I''$ ,  $I_{ch} = 1.62 I''$ 。

2) 当短路发生在发电厂高压侧母线时, 取  $K_{ch} = 1.85$ ,  $i_{ch} = 2.62 I''$ ,  $I_{ch} = 1.56 I''$ 。

3) 当短路点远离发电厂, 短路电路的总电阻较小, 总电抗较大 ( $R_\Sigma \leq X_\Sigma / 3$ ) 时,  $T_f \approx 0.05s$ , 取  $K_{ch} = 1.8$ ,  $i_{ch} = 2.55 I''$ ,  $I_{ch} = 1.51 I''$ 。

4) 在电阻较大 ( $R_\Sigma \leq X_\Sigma / 3$ ) 的电路中, 发生短路时, 短路电流非周期分量衰减较快, 可取  $K_{ch} = 1.3$ ,  $i_{ch} = 1.84 I''$ ,  $I_{ch} = 1.09 I''$ 。

#### 4.6 电动机对短路电流的影响

1) 高压同步电动机对短路电流的影响可按有限电源容量考虑。同步电动机在短路过渡过程任一时刻, 所给出的短路电流周期分量可利用运算曲线计算(见图 4.3-4~图 4.3-15)。如果同步电动机的时间常数  $T_d$  与制定曲线的标准参数(见表 4.3-15)相差较大时, 则时间  $t$  应按式(4.3-22)和式(4.3-23)修正。而励磁系统时间常数  $T_f$  对周期分量的影响很小可不修正。

2) 高压异步电动机对短路电流的影响, 只有在计算电动机附近短路点的短路冲击电流时才予以考虑。在下列情况下, 可不考虑高压异步电动机对短路冲击电流的影响: ①异步电动机与短路点的连接已相隔一个变压器; ②在计算不对称短路电流时。

由异步电动机提供的短路冲击电流  $i_{ch-M}$  按下式计算

$$i_{ch-M} = 1.1 \sqrt{2} K_{ch-M} K_{qM} I_{rM} \quad (4.3-28)$$

计入异步电动机影响后的短路冲击电流  $i_{ch}$ , 按下两式计算

$$i_{ch} = i_{ch-S} + i_{ch-M} \quad (4.3-29)$$

$$i_{ch} = \sqrt{2} (K_{ch-S} I''_S + K_{ch-M} I''_M) \quad (4.3-30)$$

短路全电流最大有效值  $I_{ch}$  按下式计算

$$I_{ch} = \sqrt{(I''_S + I''_M)^2 + 2[(K_{ch-S} - 1)I''_S + (K_{ch-M} - 1)I''_M]^2} \quad (\text{kA}) \quad (4.3-31)$$

式中,  $i_{ch-S}$  为由系统送到短路点的短路冲击电流, kA;  $I''_S$  为由系统送到短路点的超瞬态短路电流, kA;  $I''_M$  为由短路点附近的异步电动机送到短路点的超瞬态短路电流, kA, 其值  $I''_M = 1.1 K_{qM} I_{rM}$ , 如有多台异步电动机, 则应以等效电动机启动电流倍数  $K'_{qM}$  取代  $K_{qM}$  值,  $K'_{qM} = \Sigma (K_{qM} P_{rM}) / \Sigma P_{rM}$ ;  $P_{rM}$  为异步电动机的额定功率, kW;  $I_{rM}$  为异步电动机的额定电流, kA, 可由产品样本查得, 如有多台异步电动机, 则应以各台电动机额定电流的总和代替;  $K_{ch-S}$  为由系统送出的短路电流冲击系数;  $K_{ch-M}$  为由异步电动机送出的短路电流冲击系数, 一般可取 1.4~1.7, 准确数据可查图 4.3-18。

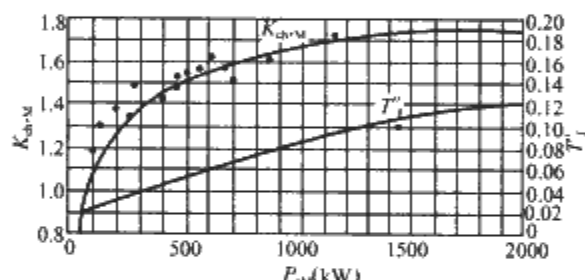


图 4.3-18 异步电动机额定容量  $P_{rM}$  与冲击系数  $K_{ch-M}$  的关系  
 $T_f$ —反馈电流周期分量衰减时间常数

#### 4.7 两相不接地短路电流的计算

两相不接地短路电流的初始值  $I''_{k2}$  的计算公式如下  
对于汽轮发电机

$$I''_{k2} = E'' / [2(X'_d + X_w)] \quad (4.3-32)$$

对于水轮发电机

$$I''_{k2} = k E'' / [2(X'_d + X_w)] \quad (4.3-33)$$

两相短路超瞬态电流与三相短路超瞬态电流之比

$$I''_{k2} / I''_{k3} = \sqrt{3} / 2 = 0.866 \quad (4.3-34)$$

而  $i_{ch}$ 、 $I_{ch}$  均正比于  $I''_k$  故

$$I''_{k2} \approx 0.866 I''_{k3}; i_{ch2} = 0.866 i_{ch3} \quad (4.3-35)$$

$$I_{ch2} = 0.866 I_{ch3}$$

两相短路稳态电流  $I_{k2}$  与三相短路稳态电流  $I_{k3}$  的比值, 按短路点与电源的距离远近决定:

(1) 在发电机出口处发生短路时

$$I_{k2} = 1.5 I_{k3} \quad (4.3-36)$$

(2) 在远距离点短路时, 即  $X_{js} > 3$  时, 因  $I_k = I''_k$

故  $I_{k2} = 0.866 I_{k3}$  (4.3-37)

(3) 一般估算

$$\left. \begin{aligned} X_{*js} > 0.6 \text{ 时, } I_{k2} < I_{k3} \\ X_{*js} \approx 0.6 \text{ 时, } I_{k2} &= I_{k3} \\ X_{*js} < 0.6 \text{ 时, } I_{k2} > I_{k3} \end{aligned} \right\} \quad (4.3-38)$$

在靠近发电机端短路时，两相短路电流的交流分量也可利用三相短路的运算曲线（见图 4.3-4~图 4.3-15）进行近似计算，其方法是以两倍的  $X_{*js}$ （ $X_{*js}$  为计算三相短路电流用的短路电路电抗的标幺值）作横坐标，从运算曲线上查得  $I_{*2}$ ，然后按下式求出两相短路电流在某一时刻  $t$  的交流分量有名值  $I_{k2}$

$$I_{k2} = \sqrt{3} I_{*2} I_{T\Sigma} \quad (4.3-39)$$

式中， $I_{T\Sigma}$  为有限电源容量系统向短路点馈送短路电流时所有发电机额定电流的总和。

4.8 单相接地电容电流的计算

电网中的单相接地电容电流由电力线路和电力设备（同步发电机、大容量同步电动机及变压器等）两部分的电容电流组成。

(1) 电缆线路的单相接地电容电流按下式计算

6kV 电缆线路

$$I_c = (95 + 2.84S)U_r l / (2200 + 6S) \quad (4.3-40)$$

10kV 电缆线路

$$I_c = (95 + 1.44S)U_r l / (2200 + 0.23S) \quad (4.3-41)$$

电缆线路的单相接地电容电流还可以按下式估算

$$I_c = 0.1 U_r l \quad (4.3-42)$$

式中， $S$  为电缆芯线的标称截面积， $\text{mm}^2$ ； $U_r$  为线路额定线电压， $\text{kV}$ ； $l$  为线路长度， $\text{km}$ 。

(2) 架空线路单相接地电容电流

无架空地线单回路  $I_c = 2.7 U_r l \times 10^{-3} \quad (4.3-43)$

有架空地线单回路  $I_c = 3.3 U_r l \times 10^{-3} \quad (4.3-44)$

架空线路的单相接地电容电流还可以按下式估算

$$I_c = U_r l / 350 \quad (4.3-45)$$

架空线路和电缆线路每千米单相接地电容电流的平均值见表 4.3-16，变电所增加的接地电容电流值见表 4.3-17。

表 4.3-16 架空线路和电缆线路每千米单相接地电容电流的平均值 单位：A/km

电 压 (kV)	电缆线路，当线芯截面积为下列诸值时 (mm <sup>2</sup> )						
	10	16	25	35	50	70	95
6	0.33	0.37	0.46	0.52	0.59	0.71	0.82
10	0.46	0.52	0.62	0.69	0.77	0.90	1.00
35	—	—	—	—	—	3.70	4.10

电 压 (kV)	电缆线路，当线芯截面积为 下列诸值时 (mm <sup>2</sup> )				架空线路	
	120	150	185	240	单回路	双回路
6	0.89	1.10	1.20	1.30	0.013	0.017
10	1.10	1.30	1.40	1.60	0.025 6	0.035
35	4.40	4.80	5.20	—	0.078 (0.091)	0.102 (0.110)

注 括号内数字用于有架空地线的架空线路。

表 4.3-17 变电所增加的接地电容电流值

额定电压 (kV)	6	10	15	35	63	110
附加值 (%)	18	16	15	13	12	10

4.9 变压器低压侧短路时折算到高压侧穿越电流的换算关系

变压器低压侧短路时折算到高压侧穿越电流的换算关系，见表 4.3-18。

表 4.3-18 变压器低压侧短路时折算到高压侧穿越电流的换算关系

连接组别	三相短路	两相短路	单相短路
Yyn0			
Ydnl1			
Dyn11			

注 1.  $I_k$ —短路电流。  
2.  $K$ —变压器变比。

5 低压网络电路元件阻抗的计算

由于三相短路为对称短路，在计算三相短路电流时，元件阻抗为相阻抗，即正序阻抗。在计算单相短路（包括单相接地故障）电流时，则必须提出相序阻抗和相保阻抗的概



念。在低压网络中发生不对称短路时,由于短路点离发电机较远,因此可以认为所有元件的负序阻抗等于正序阻抗,即等于相阻抗。

TN 接地系统低压网络的零序阻抗等于相线的零序阻抗与 3 倍保护线(即 PE、PEN 线)的零序阻抗之和,即

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_{(0)} &= \dot{Z}_{(0)\cdot ph} + 3\dot{Z}_{(0)\cdot P} \\ R_{(0)} &= R_{(0)\cdot ph} + 3R_{(0)\cdot P} \\ X_{(0)} &= X_{(0)\cdot ph} + 3X_{(0)\cdot P} \end{aligned} \right\} \quad (4.3-46)$$

TN 接地系统低压网络的相保阻抗与各相、序阻抗的关系可从下式求得

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{ph\cdot P} &= [\dot{Z}_{(1)} + \dot{Z}_{(2)} + \dot{Z}_{(0)}]/3 \\ R_{ph\cdot P} &= [R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}]/3 = [2R_{(1)} + R_{(0)}]/3 \\ X_{ph\cdot P} &= [X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}]/3 = [2X_{(1)} + X_{(0)}]/3 \end{aligned} \quad (4.3-47)$$

表 4.3-19 10(6)kV/0.4kV 配电变压器高压侧系统短路容量与高压侧阻抗、相保阻抗(归算到 400V 侧)的数值关系

高压侧短路容量 $S_S$ (MVA)	10	20	30	50	75	100	200	300	$\infty$
$Z_S$ ①	16.00	8.00	5.33	3.20	2.13	1.60	0.80	0.53	0
$X_S$ ②	15.92	7.96	5.30	3.18	2.12	1.59	0.80	0.53	0
$R_S$ ②	1.59	0.80	0.53	0.32	0.21	0.16	0.08	0.05	0
$R_{ph\cdot P\cdot S}$ ③	1.06	0.53	0.35	0.21	0.14	0.11	0.05	0.03	0
$X_{ph\cdot P\cdot S}$ ③	10.61	5.31	3.53	2.12	1.41	1.06	0.53	0.35	0

①  $Z_S = U_n^2 / S_S \times 10^3 = 160 / S_S$ 。

②  $X_S = 0.995Z_S$ ,  $R_S = 0.1X_S$ 。

③ 对于 Dyn11 或 Yyn0 联结的变压器,零序电流不能在高压侧流通,故不计入高压侧的零序阻抗  $R_{(0)\cdot S}$ 、 $X_{(0)\cdot S}$ ,即

$$\begin{aligned} R_{ph\cdot P\cdot S} &= [R_{(1)\cdot S} + R_{(2)\cdot S} + R_{(0)\cdot S}]/3 = 2R_{(1)\cdot S}/3 = 2R_S/3 \\ X_{ph\cdot P\cdot S} &= [X_{(1)\cdot S} + X_{(2)\cdot S} + X_{(0)\cdot S}]/3 = 2X_{(1)\cdot S}/3 = 2X_S/3 \end{aligned}$$

## 5.2 10(6)kV/0.4kV 三相双绕组配电变压器的阻抗

配电变压器的正序阻抗可按表 4.3-2 中有关公式计算,变压器的负序阻抗等于正序阻抗。Yyn0 联结的变压器的零

## 5.1 高压侧系统阻抗

在计算 220V/380V 网络短路电流时,变压器高压侧系统阻抗需要计入。若已知高压侧系统短路容量为  $S_S$ ,则归算到变压器低压侧的高压系统阻抗可按式计算

$$Z_S = (CU_n)^2 / S_S \times 10^3 \quad (4.3-48)$$

如不知道其电阻  $R_S$  和  $X_S$  的确切值,可以认为

$$R_S = 0.1X_S, X_S = 0.995Z_S$$

式中,  $U_n$  为变压器低压侧标称电压, 0.38kV;  $C$  为电压系数,计算三相短路电流时,取 1.05;  $S_S$  为变压器高压侧系统短路容量, MVA;  $R_S$ 、 $X_S$ 、 $Z_S$  为归算到变压器低压侧的高压系统电阻、电抗、阻抗, mΩ。

当低压侧发生单相短路时,零序电流不能在高压侧绕组流通,高压侧对于零序电流相当于开路状态,故在计算单相接地短路电流时视若无此阻抗。10(6)kV/0.4kV 配电变压器高压侧系统短路容量与高压侧系统阻抗、相保阻抗(归算到 400V)的数值关系见表 4.3-19。

序阻抗比正序阻抗大得多,其值由制造厂通过测试提供;Dyn11 联结的变压器零序阻抗如果没有测试数据时,可取其值等于正序阻抗值,即相阻抗。表 4.3-20~表 4.3-22 列出了几种变压器的各序阻抗值和相保阻抗值。

表 4.3-20 S9、S9-M 系列 10(6)kV/0.4kV 变压器的阻抗平均值(归算到 400V 侧)

型号	电压 (kV)	容量 (kVA)	阻抗 电压 (%)	负载 损耗 (kW)	电阻(mΩ)			电抗(mΩ)			电阻(mΩ)			电抗(mΩ)		
					Dyn11			Dyn11			Yyn0			Yyn0		
					正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保
					$R_{(1)}$ $R_{(2)}$ $R$	$R_{(0)}$	$R_{ph\cdot P}$	$X_{(1)}$ $X_{(2)}$ $X$	$X_{(0)}$	$X_{ph\cdot P}$	$R_{(1)}$ $R_{(2)}$ $R$	$R_{(0)}$	$R_{ph\cdot P}$	$X_{(1)}$ $X_{(2)}$ $X$	$X_{(0)}$	$X_{ph\cdot P}$
S9 S9-M	10/0.4	200	4	2.50 (2.60)	10	10	10	30.40	30.40	30.40	10 (10.40)	36	18.67 (18.93)	30.40 (30.26)	116	58.93 (58.84)
		250	4	3.05	7.81	7.81	7.81	23.75	23.75	23.75	7.81	29.2	14.94	23.75	100.2	49.23
		315	4	3.65	5.89	5.89	5.89	19.43	19.43	19.43	5.89	20.3	10.69	19.43	79.7	39.52
		400	4	4.30	4.30	4.30	4.30	15.41	15.41	15.41	4.30	15.1	7.90	15.41	63	31.27
		500	4	5.10	3.26	3.26	3.26	12.38	12.38	12.38	3.26	12.48	6.33	12.38	53.1	25.95
		630	4.5	6.20	2.50	2.50	2.50	11.15	11.15	11.15	2.50	6.5	4.57	11.15	40.24	20.85
		800	4.5	7.50	1.88	1.88	1.88	8.8	8.8	8.8	1.88	8.7	3.42	8.8	31.80	16.47
		1000	4.5	10.30	1.65	1.65	1.65	7.0	7.0	7.0	1.65	5.8	3.03	7.0	28.20	14.07
		1250	4.5	12.00	1.23	1.23	1.23	5.63	5.63	5.63	1.23	4.4	2.29	5.63	22.6	11.29
		1600	4.5	20.00 (14.5)	1.25	1.25	1.25	4.32	4.32	4.32	1.25 (0.91)	3.2	1.9 (1.67)	4.32 (4.41)	17.1	8.58 (8.64)

注 括号内数据为 S9-M 系列变压器数值。

表 4.3-21

SC(B)9 系列 10(6)/0.4kV 变压器的阻抗平均值(归算到 400V 侧)

型号	电压 (kV)	容量 (kVA)	阻抗 电压 (%)	负载 损耗 (kW)	电阻(mΩ)			电抗(mΩ)			电阻(mΩ)			电抗(mΩ)		
					Dyn11			Dyn11			Yyn0			Yyn0		
					正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保
					$R_{(1)}$ $R_{(2)}$ $R$	$R_{(0)}$	$R_{ph \cdot p}$	$X_{(1)}$ $X_{(2)}$ $X$	$R_{(0)}$	$X_{ph \cdot p}$	$R_{(1)}$ $R_{(2)}$ $R$	$R_{(0)}$	$R_{ph \cdot p}$	$X_{(1)}$ $X_{(2)}$ $X$	$R_{(0)}$	$X_{ph \cdot p}$
SC9	10/0.4	160	4	1.98	12.38	12.38	12.38	38.04	38.04	38.04	12.83	37.4	20.72	38.04	405	160.36
		200	4	2.24	8.96	8.96	8.96	29.93	29.93	29.93	8.96	35.46	17.79	29.93	359.8	139.89
		250	4	2.41	6.17	6.17	6.17	24.85	24.85	24.85	6.17	33.03	15.12	24.85	303.4	117.70
		315	4	3.10	5.00	5.00	5.00	19.70	19.70	19.70	5.00	29.86	13.29	19.70	230	89.8
		400	4	3.60	3.60	3.60	3.60	15.59	15.59	15.59	3.60	16.88	8.03	15.59	214.8	81.99
SCB9		500	4	4.30	2.75	2.75	2.75	12.50	12.50	12.50	2.75	12.88	6.13	12.50	177.7	67.57
		630	4	5.40	2.18	2.18	2.18	9.92	9.92	9.92	2.18	10.19	4.85	9.92	150.1	56.65
		630	6	5.60	2.26	2.26	2.26	15.07	15.07	15.07	2.26	11.44	5.32	15.07	197.8	75.98
		800	6	6.60	1.65	1.65	1.65	11.89	11.89	11.89	1.65	7.96	3.75	11.89	148.7	57.49
		1000	6	7.60	1.22	1.22	1.22	9.52	9.52	9.52	1.22	7.73	3.39	9.52	109.1	42.71
		1250	6	9.10	0.93	0.93	0.93	7.62	7.62	7.62	0.93	6.49	2.78	7.62	79	31.41
		1600	6	11.00	0.69	0.69	0.69	5.96	5.96	5.96	0.69	4.43	1.94	5.96	58	23.31
		2000	6	13.30	0.53	0.53	0.53	4.77	4.77	4.77	0.53	2.91	1.32	4.77	46.3	18.61
		2500	6	15.80	0.40	0.40	0.40	3.82	3.82	3.82	0.40	2.18	0.99	3.82	36.7	14.78

表 4.3-22

SC(B)10 系列 10(6)/0.4kV 变压器的阻抗平均值(归算到 400V 侧)

型号	电压 (kV)	容量 (kVA)	阻抗 电压 (%)	负载 损耗 (kW)	电阻(mΩ)			电抗(mΩ)			电阻(mΩ)			电抗(mΩ)		
					Dyn11			Dyn11			Yyn0			Yyn0		
					正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保	正、 负序	零序	相保
					$R_{(1)}$ $R_{(2)}$ $R$	$R_{(0)}$	$R_{ph \cdot p}$	$X_{(1)}$ $X_{(2)}$ $X$	$R_{(0)}$	$X_{ph \cdot p}$	$R_{(1)}$ $R_{(2)}$ $R$	$R_{(0)}$	$R_{ph \cdot p}$	$X_{(1)}$ $X_{(2)}$ $X$	$R_{(0)}$	$X_{ph \cdot p}$
SC10	10/0.4	200	4	2.20	8.80	8.80	8.80	30.77	30.77	30.77	8.80	35.46	17.69	30.77	359.8	140.45
		250	4	2.40	6.14	6.14	6.14	24.85	24.85	24.85	6.14	33.03	15.10	24.85	303.4	117.70
		315	4	3.03	4.89	4.89	4.89	19.73	19.73	19.73	4.89	29.86	13.21	19.73	230	89.82
		400	4	3.48	3.48	3.48	3.48	15.62	15.62	15.62	3.48	16.88	7.95	15.62	214.8	82.01
500		4	4.26	2.73	2.73	2.73	12.51	12.51	12.51	2.73	12.88	6.11	12.51	177.7	67.57	
630		4	5.12	2.06	2.06	2.06	9.95	9.95	9.95	2.06	10.19	4.77	9.95	150.1	56.67	
630		6	5.20	2.10	2.10	2.10	15.09	15.09	15.09	2.10	11.44	5.21	15.09	197.8	75.99	
800		6	6.06	1.52	1.52	1.52	11.90	11.90	11.90	1.52	7.96	3.67	11.90	148.7	57.50	
1000		6	7.09	1.13	1.13	1.13	9.54	9.54	9.54	1.13	7.73	3.33	9.54	109.1	42.73	
1250		6	8.46	0.87	0.87	0.87	7.63	7.63	7.63	0.87	6.49	2.74	7.63	79	31.42	
1600		6	10.20	0.64	0.64	0.64	5.97	5.97	5.97	0.64	4.43	1.90	5.97	58	23.31	
2000		6	12.60	0.50	0.50	0.50	4.77	4.77	4.77	0.50	2.91	1.30	4.77	46.3	18.61	
2500		6	15.00	0.38	0.38	0.38	3.82	3.82	3.82	0.38	2.18	0.98	3.82	36.7	14.78	
2000		8	14.30	0.57	0.57	0.57	6.37	6.37	6.37							
2500		8	17.25	0.44	0.44	0.44	5.10	5.10	5.10							
2000		10	15.40	0.62	0.62	0.62	7.98	7.98	7.98							
2500		10	18.60	0.48	0.48	0.48	6.38	6.38	6.38							

### 5.3 低压配电线路的阻抗

#### 5.3.1 线路零序阻抗的计算

各种形式的低压配电线路的零序阻抗  $Z_{(0)}$  由下式计算

$$|Z_{(0)}| = |\dot{Z}_{(0),ph} + 3\dot{Z}_{(0),p}|$$

$$Z_{(0)} = \sqrt{[R_{(0),ph} + 3R_{(0),p}]^2 + [X_{(0),ph} + 3X_{(0),p}]^2} \quad (4.3-49)$$

式中,  $Z_{(0),ph}$  为相线的零序阻抗,  $Z_{(0),ph} = \sqrt{R_{(0),ph}^2 + X_{(0),ph}^2}$ ;

$Z_{(0),p}$  为保护线的零序阻抗,  $Z_{(0),p} = \sqrt{R_{(0),p}^2 + X_{(0),p}^2}$ ;

$R_{(0),ph}$ 、 $X_{(0),ph}$  为相线的零序电阻和电抗;  $R_{(0),p}$ 、 $X_{(0),p}$  为保护线的零序电阻和电抗。

相线、保护线的零序电阻和零序电抗的计算方法与正、负序电阻和电抗的计算方法相同,但在计算相线零序电抗  $X_{(0),ph}$  和保护线零序电抗  $X_{(0),p}$  时,线路电抗计算公式中

的几何均距  $D_0$  改用  $D_0$  代替, 其计算公式如下

$$D_0 = \sqrt[3]{D_{L1P} D_{L2P} D_{L3P}} \quad (4.3-50)$$

式中,  $D_{L1P}$ 、 $D_{L2P}$ 、 $D_{L3P}$  为相线 L1、L2、L3 中心至保护线 PE 或 PEN 线中心的距离, mm。

### 5.3.2 线路相保阻抗的计算

单相接地短路电路中任一元件(配电变压器、线路等)的相保阻抗  $Z_{ph \cdot p}$  计算公式为

$$\left. \begin{aligned} Z_{ph \cdot p} &= \sqrt{R_{ph \cdot p}^2 + X_{ph \cdot p}^2} \\ R_{ph \cdot p} &= [R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}] / 3 \\ &= [R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)ph} + 3R_{(0)p}] / 3 = R_{ph} + R_p \\ X_{ph \cdot p} &= [X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}] / 3 \\ &= [X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)ph} + 3X_{(0)p}] / 3 \\ &= [X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)ph}] / 3 + X_{(0)p} \end{aligned} \right\} \quad (4.3-51)$$

式中,  $R_{ph \cdot p}$  为元件的相保电阻,  $R_{ph \cdot p} = [R_{(1)} + R_{(2)} +$

$R_{(0)}] / 3$ ;  $X_{ph \cdot p}$  为元件的相保电抗,  $X_{ph \cdot p} = [X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}] / 3$ ;  $R_{(1)}$ 、 $X_{(1)}$  为元件的正序电阻和正序电抗;  $R_{(2)}$ 、 $X_{(2)}$  为元件的负序电阻和负序电抗;  $R_{(0)}$ 、 $X_{(0)}$  为元件的零序电阻和零序电抗

$$R_{(0)} = R_{(0)ph} + 3R_{(0)p}$$

$$X_{(0)} = X_{(0)ph} + 3X_{(0)p}$$

式中,  $R_{ph}$ 、 $R_{(0)ph}$ 、 $X_{(0)ph}$  为元件相线电阻, 相线的零序电阻和相线的零序电抗;  $R_p$ 、 $R_{(0)p}$ 、 $X_{(0)p}$  为元件保护线的电阻, 保护线的零序电阻和保护线的零序电抗。

### 5.3.3 线路阻抗的数据

各种形式配电线路的相线(正、负序)电阻和相线(正、负序)电抗及相保电阻、相保电抗值分别见表 4.3-23 及表 4.3-24。

表 4.3-23

低压母线单位长度阻抗值

单位: mΩ/m

母线规格 <sup>①</sup> (mm)	$R'$ <sup>②</sup>	$R_{ph \cdot p}' = R' + R_p'$	$X'$		$X_{ph \cdot p}'$	
			$D^{\text{②}}$ (mm)		$D_n^{\text{②}} = 200\text{mm}, D(\text{mm})$	
			250	350	250	350
3[2(125×10)]+125×10	0.014	0.042	0.147	0.170	0.317	0.344
3[2(125×10)]+80×10	0.014	0.054	0.147	0.170	0.340	0.367
4(125×10)	0.028	0.056	0.147	0.170	0.317	0.344
3(125×10)+80×8	0.028	0.078	0.147	0.170	0.341	0.369
3(125×10)+80×6.3	0.028	0.088	0.147	0.170	0.343	0.370
4[2(100×10)]	0.016	0.032	0.156	0.181	0.336	0.366
3[2(100×10)]+100×10	0.016	0.048	0.156	0.181	0.336	0.366
铜 3[2(125×10)]+125×10	0.009	0.027	0.147	0.170	0.317	0.344
铜 3[2(100×10)]+100×10	0.012 5	0.038	0.156	0.181	0.336	0.366
3[(2(100×10)]+80×8	0.016	0.066	0.156	0.181	0.350	0.380
4(100×10)	0.033	0.066	0.156	0.181	0.336	0.366
3(100×10)+80×10	0.033	0.073	0.156	0.181	0.349	0.378
4(80×10)	0.040	0.080	0.168	0.193	0.361	0.390
3(80×10)+63×6.3	0.040	0.116	0.168	0.193	0.380	0.410
铜 4(100×10)	0.025	0.050	0.156	0.181	0.336	0.366
铜 3(100×10)+80×8	0.025	0.056	0.156	0.181	0.350	0.380
铜 4(80×8)	0.031	0.062	0.170	0.195	0.364	0.394
铜 3(80×8)+63×6.3	0.031	0.078	0.170	0.195	0.382	0.412
铜 3(80×8)+50×5	0.031	0.104	0.170	0.195	0.394	0.423
4(100×8)	0.040	0.080	0.158	0.182	0.340	0.368
3(100×8)+80×8	0.040	0.090	0.158	0.182	0.352	0.381
3(100×8)+63×6.3	0.040	0.116	0.158	0.182	0.370	0.399
4(80×8)	0.050	0.100	0.170		0.364	
3(80×8)+63×6.3	0.050	0.126	0.170		0.382	
3(80×8)+50×5	0.050	0.169	0.170		0.394	
4(80×6.3)	0.060	0.120	0.172		0.368	
3(80×6.3)+63×6.3	0.060	0.136	0.172		0.384	
3(80×6.3)+50×5	0.060	0.179	0.172		0.396	
4(63×6.3)	0.076	0.152	0.188		0.400	
3(63×6.3)+40×4	0.076	0.262	0.188		0.426	
4(50×5)	0.119	0.238	0.199		0.423	
3(50×5)+40×4	0.119	0.305	0.199		0.437	
4(40×4)	0.186	0.372	0.212		0.451	

① 母线规格一栏除注明铜以外, 均为铝母线; 母线规格建议优先采用 100×10、80×8、63×6.3、50×5 及 40×4。

② 本表所列数据对于母线平放或竖放均适用, PEN 线在边位,  $D$  为相线间距,  $D_0$  为 PEN 线与邻近相线中心间距。当变压器容量小于或等于 630kVA 时,  $D$  为 250mm, 当变压器容量大于 630kVA 时,  $D$  为 350mm。

③  $R'$ 、 $R_{ph \cdot p}'$  为 20℃ 时导线单位长度电阻值。

表 4.3-24

线路单位长度阻抗值

单位:  $\text{m}\Omega/\text{m}$ 

$R'$ ①														
$S(\text{mm}^2)$ ②	185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5
铝	0.156	0.192	0.240	0.303	0.411	0.575	0.822	1.151	1.798	2.876	4.700	7.050	11.280	
铜	0.095	0.117	0.146	0.185	0.251	0.351	0.501	0.702	1.097	1.754	2.867	4.300	6.880	11.467
$R'_{\text{ph}\cdot\text{p}} = 1.5(R'_{\text{ph}} + R'_p)$ ③														
$S_p = S/\text{mm}^2$ ④ $4\times$	185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5
铝	0.468	0.576	0.720	0.909	1.233	1.725	2.466	3.453	5.394	8.628	14.100	21.150	33.840	
铜	0.285	0.351	0.438	0.555	0.753	1.053	1.503	2.106	3.291	5.262	8.601	12.900	20.640	34.401
$S_p \approx S/2$ ( $\text{mm}^2$ )	$3\times$	185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	
	$+1\times$	95	70	70	50	35	25	16	16	10	6	4	2.5	
铝		0.689	0.905	0.977	1.317	1.850	2.589	3.930	4.424	7.011	11.364	17.625	27.495	
铜 $R'_{(0)\text{p}}$		0.420	0.552	0.596	0.804	1.128	1.580	2.397	2.699	4.277	6.392	10.751	16.770	
$X'$														
线芯 $S(\text{mm}^2)$	185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5
架空线④	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.40				
绝缘子 布线⑤	$D=150\text{mm}$	0.208	0.216	0.223	0.231	0.242	0.251	0.266	0.277	0.290	0.306	0.325	0.338	0.353
	$D=100\text{mm}$	0.184						0.241	0.251	0.265	0.280	0.300	0.312	0.327
	$D=70\text{mm}$	0.162									0.277	0.290	0.305	0.321
全塑电缆	四芯		0.076		0.079	0.078	0.079	0.080	0.082	0.087	0.094	0.100	0	
交联电缆(四等芯)			0.077	0.076	0.077	0.078	0.079	0.080	0.082	0.085	0.092	0.097		
钢管布线			0.08		0.09			0.10		0.11		0.12	0.13	0.14
$X'_{\text{ph}\cdot\text{p}}$														
$S(\text{mm}^2)$	185	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5
架空线	$S_p = S$	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.75	0.77			
	$S_p \approx S/2$	0.60	0.62	0.63	0.65	0.67	0.69	0.72	0.73	0.767				
绝缘子 布线	$D=150\text{mm}$	$S_p = S$	0.448	0.464	0.478	0.493	0.517	0.537	0.563	0.583	0.611	0.643	0.681	0.707
		$S_p \approx S/2$	0.470	0.491	0.498	0.516	0.539	0.559	0.587	0.597	0.627			
	$D=100\text{mm}$	$S_p = S$						0.513	0.533	0.561	0.591	0.631	0.655	0.685
		$S_p \approx S/2$						0.537	0.547	0.576				
	$D=70\text{mm}$	$S_p = S$									0.585	0.611	0.645	0.673
		$S_p \approx S/2$												
全塑电缆	$S_p = S$	0.152	0.152	0.152	0.158	0.156	0.158	0.160	0.164	0.174	0.188	0.200	0.200	
	$S_p \approx S/2$	0.179	0.161	0.161	0.186	0.178	0.187	0.191	0.192	0.201	0.224	0.211	0.234	
钢管布线	$S_p = S$		0.20	0.21	0.23	0.22	0.21	0.24	0.23	0.25	0.26	0.26	0.28	0.29
	$S_p \approx S/2$		0.21	0.21	0.21	0.23	0.22	0.25	0.25	0.25				

①  $R'$ 为导线  $20^\circ\text{C}$ 时单位长度电阻值,  $R' = (C_j \rho_{20}/S) \times 10^3 (\text{m}\Omega)$ , 铝  $\rho_{20} = 0.028 \text{ }\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  ( $2.82 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ), 铜  $\rho_{20} = 0.017 \text{ }\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  ( $1.72 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ).  $C_j$ 为绞入系数, 导线截面积小于或等于  $6\text{mm}^2$ 时,  $C_j$ 取为 1.0; 导线截面积大于  $6\text{mm}^2$ 时,  $C_j$ 取为 1.02。

②  $S$ 为相线线芯截面积,  $S_p$ 为 PEN 线芯截面积。

③  $R'_{\text{ph}\cdot\text{p}}$ 为计算单相对地短路电流用, 其值取导线  $20^\circ\text{C}$ 时电阻的 1.5 倍。

④ 架空线水平排列, PEN 线在中间, 线间距离依次为 400mm、600mm、400mm。

⑤ 绝缘子布线水平排列, PEN 线在边位,  $D(\text{mm})$ 为线间距离。

## 6 低压网络短路电流的计算

### 6.1 计算条件

高压系统短路电流的计算条件也适用于低压网络短路电流的计算,此外低压网络短路电流的计算还有如下特点:

1) 用电单位的电源来自地区电力网,配电用的电力变压器容量远小于系统的容量,因此短路电流可按无限大电源容量的网络短路进行计算,短路电流周期分量不衰减。

2) 计入短路电路各元件的有效电阻,但短路点的电弧电阻及导线连接点、开关设备和电器的接触电阻可忽略不计。

3) 当电路电阻较大,短路电流非周期分量衰减较快,一般可不考虑非周期分量。只有在离配电变压器低压侧很近处,如低压侧20m以内大截面线路上或低压配电屏内部发生短路时,才需要计算非周期分量。

4) 单位线路长度有效电阻的计算温度不同,在计算三相最大短路电流时,导体计算温度取为20℃;在计算单相短路(包括单相接地故障)电流时,假设的计算温度升高,电阻值增大,其值一般取20℃时电阻的1.5倍。

5) 计算过程采用有单位制,电压(V)、电流(kA)、容量(kVA)、阻抗(mΩ)。

6) 计算220/380V网络三相短路电流时,计算电压 $C U_n$ 取电压系数 $C$ 为1.05,计算单相接地故障电流时, $C$ 取1.0, $U_n$ 为系统标称电压(线电压)380V。

### 6.2 三相和两相不接地短路电流的计算

在220/380V网络中,一般以三相短路电流为最大。一台变压器供电的低压网络三相短路电流计算电路,如图4.3-19所示。

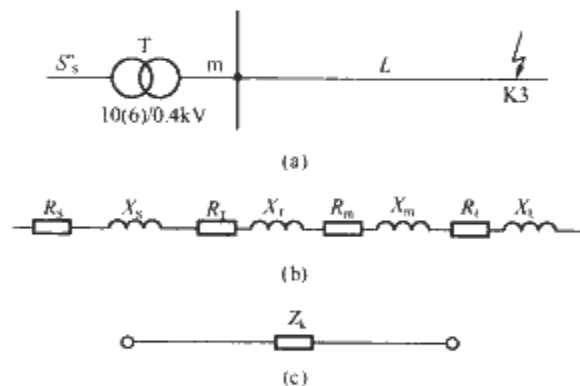


图 4.3-19 低压网络三相短路电流计算电路

(a) 系统图; (b) 等效电路;  
(c) 用短路阻抗 $Z_k$ 表示的等效电路

低压网络三相起始短路电流周期分量有效值按下式计算

$$I'' = C U_n / (\sqrt{3} Z_k) = 1.05 U_n / (\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2})$$

$$= 230 / \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \quad (4.3-52)$$

$$R_k = R_s + R_T + R_m + R_L$$

$$X_k = X_s + X_T + X_m + X_L$$

式中, $U_n$ 为网络标称电压(线电压),V,220/380V网络为380V; $C$ 为电压系数,计算三相短路电流时取1.05; $Z_k$ 、 $R_k$ 、 $X_k$ 为短路电路总阻抗、总电阻、总电抗,mΩ; $R_s$ 、 $X_s$ 为变压器高压侧系统的电阻、电抗(归算到400V侧),mΩ; $R_T$ 、 $X_T$ 为变压器的电阻、电抗,mΩ; $R_m$ 、 $X_m$ 为变压器低压侧母线段的电阻、电抗,mΩ; $R_L$ 、 $X_L$ 为配电线路的电阻、电抗,mΩ; $I''$ 为三相短路电流的起始值、稳

态值。

当 $\sqrt{R_1^2 + X_1^2} / \sqrt{R_2^2 + X_2^2} \geq 2$ 时,变压器低压侧短路时的短路电流周期分量不衰减,即 $I'' = I_k$ 。

三相短路冲击电流的计算与高压系统相同,见式(4.3-27)。电动机反馈对短路冲击电流的影响,仅当短路点附近所接电动机额定电流之和大于短路电流的1%( $\sum I_{r.m} > 0.01 I''$ )时,才考虑其影响。异步电动机启动电流倍数可取6~7,异步电动机的短路电流冲击系数可取1.3。由异步电动机馈送的短路冲击电流的计算见高压系统计算式(4.3-28)。

低压网络两相短路电流 $I''_{k2}$ 与三相短路电流 $I''_{k3}$ 的关系也和高压系统相同,即 $I''_{k2} = 0.866 I''_{k3}$ 。

两相短路稳态电流 $I_{k2}$ 与三相短路稳态电流 $I_{k3}$ 的比值也和高压系统相同。在远离发电机短路时, $I_{k2} = 0.866 I_{k3}$ ;在发电机出口处短路时, $I_{k2} = 1.5 I_{k3}$ 。

### 6.3 单相短路(包括单相接地故障)电流的计算

1) 单相接地故障电流的计算,TN接地系统的低压网络单相接地故障电流 $I''_{k1}$ 可由下式计算

$$I''_{k1} = (C U_n / \sqrt{3}) / [(Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}) / 3]$$

$$= (1.05 U_n / \sqrt{3}) / \left\{ \sqrt{[R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}) / 3]^2 + [(X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}) / 3]^2} \right\}$$

$$= (U_n / \sqrt{3}) / \sqrt{R_{ph.p}^2 + X_{ph.p}^2} = 220 / \sqrt{R_{ph.p}^2 + X_{ph.p}^2}$$

$$= 220 / Z_{ph.p} \quad (\text{kA}) \quad (4.3-53)$$

$$R_{ph.p} = (R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}) / 3$$

$$= R_{ph.p.s} + R_{ph.p.T} + R_{ph.p.m} + R_{ph.p.L}$$

$$X_{ph.p} = (X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}) / 3$$

$$= X_{ph.p.s} + X_{ph.p.T} + X_{ph.p.m} + X_{ph.p.L} \quad (4.3-54)$$

$$Z_{ph.p} = \sqrt{R_{ph.p}^2 + X_{ph.p}^2}$$

$$R_{(1)} = R_{(1).s} + R_{(1).T} + R_{(1).m} + R_{(1).L}$$

$$X_{(1)} = X_{(1).s} + X_{(1).T} + X_{(1).m} + X_{(1).L}$$

$$R_{(2)} = R_{(2).s} + R_{(2).T} + R_{(2).m} + R_{(2).L}$$

$$X_{(2)} = X_{(2).s} + X_{(2).T} + X_{(2).m} + X_{(2).L}$$

$$R_{(0)} = R_{(0).s} + R_{(0).T} + R_{(0).m} + R_{(0).L}$$

$$X_{(0)} = X_{(0).s} + X_{(0).T} + X_{(0).m} + X_{(0).L}$$

式中, $U_n$ 为220、380V网络标称线电压,即380V, $U_n / \sqrt{3} = 380V / \sqrt{3} = 220V$ ; $C$ 为电压系数,计算单相接地故障电流时取1; $R_{(1)}$ 、 $R_{(2)}$ 、 $R_{(0)}$ 为短路电路正序、负序、零序电阻,mΩ; $X_{(1)}$ 、 $X_{(2)}$ 、 $X_{(0)}$ 为短路电路正序、负序、零序电抗,mΩ; $Z_{(1)}$ 、 $Z_{(2)}$ 、 $Z_{(0)}$ 为短路电路正序、负序、零序阻抗,mΩ; $R_{ph.p}$ 、 $X_{ph.p}$ 、 $Z_{ph.p}$ 为短路电路的相线—保护线回路(以下简称相保,保护线包括PE线和PEN线)相保电阻、相保电抗、相保阻抗,mΩ。

2) 相线与中性线之间短路的单相短路电流 $I''_{k1}$ 的计算,与上述单相接地故障电流计算相似,仅将配电线路的相保电阻 $R_{ph.p.L}$ 、相保电抗 $X_{ph.p.L}$ 改用相线—中性线回路的电阻、电抗。

### 6.4 10(6)/0.4kV电力变压器低压侧短路电流值

10(6)/0.4kV电力变压器低压侧短路电流值见表4.3-25~表4.3-28。

表 4.3-25 SC(B)9 系列 10(6)kV、0.4kV 变压器低压侧短路电流值 (Dyn11 联结)

高压侧 系统短 路容量 (MVA)	变压器容量(kVA)										2500																			
	变压器阻抗电压(%)										6																			
	4×(40×4)										3×(125×10)+ 100×10																			
低电压段规格/ WLA(mm)	3×(50×5)+ 40×4			3×(63× 6.3)+ 40×4			3×(80× 6.3)+ 50×5			3×(80×8)+ 50×5			3×(100×8)+ 63×6.3			3×(125× 10)+ 80×6.3			3×[2× (100×10)]+ 100×10			3×[2× (125×10)]+ 125×10			3×[2× (100×10)]+ 100×10Wcu			3×[2× (125×10)]+ 125×10Wcu		
	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保	单相 正、 负序	三相 正、 负序	单相 接地 相保
10	计算电阻(mΩ)	14.9	15.3	11.48	11.88	8.69	9.09	7.19	7.59	5.57	5.97	4.64	4.71	4.02	4.09	4.17	3.44	3.29	2.95	2.72	2.60	2.23	2.35	1.96	2.18	1.78	2.04	1.60		
	计算电抗(mΩ)	55	50.91	46.91	42.80	41.83	37.72	36.62	32.50	32.45	28.33	29.28	25.09	26.69	22.50	31.84	27.65	28.66	24.50	26.29	21.98	24.45	20.06	22.73	18.29	21.60	17.21	20.59	16.15	
	短路电流(kA)	4.04	4.14	4.76	4.95	5.38	5.67	6.16	6.59	7.60	7.60	8.62	8.62	8.52	9.62	7.17	7.87	7.97	8.90	8.70	9.93	9.35	10.90	10.07	11.96	10.59	12.72	11.12	13.56	
20	计算电阻(mΩ)	14.11	14.77	10.69	11.35	7.90	8.56	6.40	7.06	5.44	5.44	3.85	4.18	3.23	3.56	3.31	3.64	2.65	2.76	2.16	2.19	1.81	1.70	1.56	1.43	1.39	1.25	1.25	1.07	
	计算电抗(mΩ)	47.06	45.61	38.95	37.50	33.87	32.42	28.66	27.20	24.49	23.03	21.32	19.79	18.73	17.20	23.88	22.35	20.70	19.19	18.33	16.68	16.49	14.76	14.77	12.99	13.64	11.91	12.63	10.85	
	短路电流(kA)	4.68	4.59	5.69	5.62	6.61	6.56	7.83	7.83	9.22	9.30	10.62	10.87	12.10	12.53	9.54	9.72	11.02	11.35	12.46	13.08	13.86	14.80	15.49	16.83	16.78	18.36	18.12	20.18	
30	计算电阻(mΩ)	13.84	14.59	10.42	11.17	7.63	8.38	6.13	6.88	4.51	5.26	3.58	4.00	2.96	3.38	3.04	3.46	2.38	2.58	1.89	2.01	1.54	1.52	1.29	1.25	1.12	1.07	0.98	0.89	
	计算电抗(mΩ)	44.4	43.83	36.29	35.72	31.21	30.64	26.0	25.42	21.83	21.25	18.66	18.01	16.07	15.42	21.22	20.57	18.04	17.41	15.67	14.90	13.83	12.98	12.11	11.21	10.98	10.13	9.97	9.07	
	短路电流(kA)	4.95	4.76	6.09	5.88	7.16	6.92	8.61	8.36	10.32	10.05	12.11	11.92	14.08	13.93	10.73	10.55	12.64	12.50	14.58	14.64	16.52	16.83	18.88	19.50	20.83	21.59	22.95	24.15	
50	计算电阻(mΩ)	13.63	14.45	10.21	11.03	7.42	8.24	5.92	6.74	4.30	5.12	3.37	3.86	2.75	3.24	2.83	3.32	2.17	2.44	1.68	1.87	1.33	1.38	1.08	1.11	0.91	0.93	0.77	0.75	
	计算电抗(mΩ)	42.28	42.42	34.17	34.31	29.09	29.23	23.88	24.01	19.71	19.84	16.54	16.60	13.95	14.01	19.10	19.16	15.92	16.00	13.55	13.49	11.71	11.57	9.99	9.80	8.86	8.72	7.85	7.66	
	短路电流(kA)	5.18	4.91	6.45	6.10	7.66	7.24	9.35	8.82	11.40	10.74	13.63	12.91	16.17	15.30	11.91	11.31	14.31	13.60	16.85	16.15	19.51	18.88	22.89	22.31	25.81	25.09	29.15	28.57	
75	计算电阻(mΩ)	13.52	14.38	10.10	10.96	7.31	8.17	5.81	6.67	4.19	5.05	3.26	3.79	2.64	3.17	2.72	3.25	2.06	2.37	1.57	1.80	1.22	1.31	0.97	1.04	0.80	0.86	0.66	0.68	
	计算电抗(mΩ)	41.22	41.71	33.11	33.60	28.03	28.52	22.82	23.30	18.65	19.13	15.48	15.89	12.89	13.30	18.04	18.45	14.86	15.29	12.49	12.78	10.65	10.86	8.93	9.09	7.80	8.01	6.79	6.95	
	短路电流(kA)	5.30	4.99	6.64	6.23	7.94	7.41	9.77	9.08	12.04	11.12	14.54	13.46	17.48	16.09	12.61	11.75	15.33	14.22	18.27	17.04	21.46	20.11	25.61	24.04	29.34	27.30	33.72	31.52	
100	计算电阻(mΩ)	13.47	14.35	10.05	10.93	7.26	8.14	5.76	6.64	4.14	5.02	3.21	3.76	2.59	3.14	2.67	3.22	2.01	2.34	1.52	1.77	1.17	1.28	0.92	1.01	0.75	0.83	0.61	0.65	
	计算电抗(mΩ)	40.69	41.36	32.58	33.25	27.50	28.17	22.29	22.95	18.12	18.78	14.95	15.54	12.36	12.95	17.51	18.10	14.33	14.94	11.96	12.43	10.12	10.51	8.40	8.74	7.27	7.66	6.26	6.60	
	短路电流(kA)	5.37	5.03	6.75	6.29	8.09	7.50	9.99	9.21	12.37	11.32	15.04	13.76	18.21	16.50	12.99	11.97	15.89	14.55	19.07	17.52	22.57	20.77	27.22	25.00	31.46	28.57	36.57	33.18	
200	计算电阻(mΩ)	13.39	14.29	9.97	10.87	7.18	8.08	5.68	6.58	4.06	4.96	3.13	3.70	2.51	3.08	2.59	3.16	1.93	2.28	1.44	1.71	1.09	1.22	0.84	0.95	0.67	0.77	0.53	0.59	
	计算电抗(mΩ)	39.9	40.83	31.79	32.72	26.71	27.64	21.50	22.42	17.33	18.25	14.16	15.01	11.57	12.42	16.72	17.57	13.54	14.41	11.17	11.90	9.33	9.98	7.61	8.21	6.48	7.13	5.47	6.07	
	短路电流(kA)	5.46	5.09	6.90	6.38	8.32	7.64	10.34	9.41	12.92	11.63	15.86	14.23	19.43	17.19	13.59	12.32	16.81	15.08	20.43	18.30	24.49	21.89	30.03	26.63	35.33	30.68	41.82	36.07	
300	计算电阻(mΩ)	13.36	14.27	9.94	10.85	7.15	8.06	5.56	6.56	4.03	4.94	3.10	3.68	2.48	3.06	2.56	3.14	1.90	2.26	1.41	1.69	1.06	1.20	0.81	0.93	0.64	0.75	0.50	0.57	
	计算电抗(mΩ)	39.63	40.65	31.52	32.54	26.44	27.46	21.23	22.24	17.06	18.07	13.89	14.83	11.30	12.24	16.45	17.39	13.27	14.23	10.90	11.72	9.06	9.80	7.34	8.03	6.21	6.95	5.20	5.89	
	短路电流(kA)	5.50	5.11	6.96	6.41	8.40	7.69	10.47	9.49	13.12	11.75	16.16	14.40	19.88	17.43	13.81	12.45	17.15	15.26	20.93	18.58	25.22	22.29	31.17	27.23	36.86	31.47	44.06	37.16	
∞	计算电阻(mΩ)	13.31	14.24	9.89	10.82	7.10	8.03	5.60	6.53	3.98	4.91	3.05	3.65	2.43	3.03	2.51	3.11	1.85	2.23	1.36	1.66	1.01	1.17	0.76	0.90	0.59	0.72	0.45	0.54	
	计算电抗(mΩ)	39.10	40.30	30.99	32.19	25.91	27.11	20.70	21.89	16.53	17.72	13.36	14.48	10.77	11.89	15.92	17.04	12.74	13.88	10.37	11.37	8.53	9.45	6.81	7.68	5.68	6.60	4.67	5.54	
	短路电流(kA)	5.57	5.15	7.06	6.48	8.56	7.78	10.73	9.63	13.53	11.96	16.79	14.74	20.83	17.93	14.27	12.70	17.87	15.65	21.99	19.15	26.78	23.11	33.58	28.46	40.28	33.13	49.04	39.50	

注 1. 由于 SC(B)9 与 SC(B)10 阻抗平均值相近, 故该表也可用于 SC(B)10。

2. 表中母线规格用于 TN-C 系统, 若为 TN-S 系统, 再增加一条相母线。



表 4.3-26 SC(B)9 系列 10(6)kV、0.4kV 变压器低压侧短路电流值(Yyn0 联结)

高压侧 系统短 路容量 (MVA)	变压器容量(kVA)	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500															
	变压器阻抗电压(%)	6																											
	低压母线规格/ WLA(mm)	4																											
短路种类及 电路阻抗	4×(40×4)	3×(50×5)+ 40×4			3×(63× 6.3)+ 40×4			3×(80× 6.3)+ 50×5			3×(80× 8)+ 63×6.3			3×(125× 10)+ 80×6.3			3×[2× (100×10)+ 100×10			3×[2× (125×10)+ 125×10			3×[2× (100×10)+ 100×10Wcu]			3×[2× (125×10)+ 125×10Wcu]			
		三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	三相 正、 负序 接地 相保	
10	计算电阻(mΩ)	14.9	23.64	11.48	20.71	8.69	18.04	7.19	15.88	5.57	10.40	4.64	8.09	4.02	6.76	4.10	7.23	3.44	5.39	2.95	4.89	2.60	4.08	2.35	3.21	2.18	2.57	2.04	2.14
	计算电抗(mΩ)	55	173.23	46.91	152.76	41.83	130.57	36.62	102.60	32.45	94.73	29.28	80.16	26.69	69.23	31.84	88.56	28.66	70.10	26.29	55.17	24.45	43.85	22.73	35.64	21.60	31.05	20.59	27.11
	短路电流(kA)	4.04	1.26	4.76	1.43	5.38	1.67	6.16	2.12	6.99	2.31	7.76	2.73	3.85	7.56	3.31	6.70	2.65	4.86	2.16	4.36	1.81	3.55	1.56	2.68	1.39	2.04	1.25	1.66
	计算电阻(mΩ)	14.11	23.11	10.69	20.18	7.90	17.51	6.40	15.35	4.78	9.87	3.85	7.56	3.23	6.23	3.31	6.70	2.65	4.86	2.16	4.36	1.81	3.55	1.56	2.68	1.39	2.04	1.25	1.66
20	计算电抗(mΩ)	47.06	167.93	38.95	147.46	33.87	125.27	28.66	97.30	24.49	89.43	21.32	74.86	18.73	63.93	23.88	83.26	20.70	64.80	18.33	49.87	16.49	38.55	14.77	30.34	13.64	25.75	12.63	21.81
	短路电流(kA)	4.68	1.30	5.69	1.48	6.61	1.74	7.83	2.23	9.22	2.45	10.62	2.92	12.10	3.43	9.54	2.63	11.02	3.39	12.46	4.39	13.86	5.68	15.49	7.22	16.78	8.52	18.12	10.06
	计算电阻(mΩ)	13.84	22.93	10.42	20.00	7.63	17.33	6.13	15.17	4.51	9.69	3.58	7.38	2.96	6.05	3.04	6.52	2.38	4.68	1.89	4.18	1.54	3.37	1.29	2.50	1.12	1.86	0.98	1.48
	计算电抗(mΩ)	44.4	166.15	36.29	145.68	31.21	123.49	26.0	95.52	21.83	87.65	18.66	73.08	16.07	62.15	21.22	81.48	18.04	63.02	15.67	48.09	13.83	36.77	12.11	28.56	10.98	23.97	9.97	20.03
30	短路电流(kA)	4.95	1.3	6.09	1.50	7.16	1.76	8.61	2.27	10.32	2.49	12.11	3.00	14.08	3.52	10.73	2.69	12.64	3.48	14.58	4.56	16.52	5.96	18.88	7.67	20.83	9.15	22.95	10.96
	计算电阻(mΩ)	13.63	22.79	10.21	19.86	7.42	17.19	5.92	15.03	4.30	9.55	3.37	7.24	2.75	5.91	2.83	6.38	2.17	4.54	1.68	4.04	1.33	3.23	1.08	2.36	0.91	1.72	0.77	1.34
	计算电抗(mΩ)	42.28	164.74	34.17	144.27	29.09	122.08	23.88	94.11	19.71	86.24	16.54	71.67	13.95	60.74	19.10	80.07	15.92	61.61	13.55	46.68	11.71	35.36	9.99	27.15	8.86	22.56	7.85	18.62
	短路电流(kA)	5.18	1.32	6.45	1.51	7.66	1.78	9.35	2.31	11.40	2.54	13.63	3.05	16.17	3.60	11.91	2.74	14.31	3.56	16.85	4.70	19.51	6.20	22.89	8.07	25.81	9.73	29.15	11.78
50	计算电阻(mΩ)	13.52	22.72	10.10	19.79	7.31	17.12	5.81	14.96	4.19	9.48	3.26	7.17	2.64	5.84	2.72	6.31	2.06	4.47	1.57	3.97	1.22	3.16	0.97	2.29	0.80	1.65	0.66	1.27
	计算电抗(mΩ)	41.22	164.03	33.11	143.56	28.03	121.37	22.82	93.40	18.65	85.53	15.48	70.96	12.89	60.03	18.04	79.36	14.86	60.90	12.49	45.97	10.65	34.65	8.93	26.44	7.80	21.85	6.79	17.91
	短路电流(kA)	5.30	1.33	6.64	1.52	7.94	1.79	9.77	2.33	12.04	2.56	14.54	3.08	17.48	3.65	12.61	2.76	15.33	3.60	18.27	4.77	21.46	6.32	25.61	8.29	29.34	10.04	33.72	12.26
	计算电阻(mΩ)	13.47	22.69	10.05	19.76	7.26	17.09	5.67	14.93	4.14	9.45	3.21	7.14	2.59	5.81	2.67	6.28	2.01	4.44	1.52	3.94	1.17	3.13	0.92	2.26	0.75	1.62	0.61	1.24
100	计算电抗(mΩ)	40.69	163.68	32.58	143.21	27.50	121.02	22.29	93.05	18.12	85.18	14.95	70.61	12.36	59.68	17.51	79.01	14.33	60.55	11.96	45.62	10.12	34.30	8.40	26.09	7.27	21.50	6.26	17.56
	短路电流(kA)	5.37	1.33	6.75	1.52	8.09	1.8	9.99	2.33	12.37	2.57	15.04	3.10	18.21	3.67	12.99	2.78	15.89	3.62	19.07	4.80	22.57	6.39	27.22	8.40	31.46	10.20	36.57	12.50
	计算电阻(mΩ)	13.39	22.63	9.97	19.70	7.18	17.03	5.68	14.87	4.06	9.39	3.13	7.08	2.51	5.75	2.59	6.22	1.93	4.38	1.44	3.88	1.09	3.07	0.84	2.20	0.67	1.56	0.53	1.18
	计算电抗(mΩ)	39.9	163.15	31.79	142.68	26.71	120.49	21.50	92.52	17.33	84.65	14.16	70.08	11.57	59.15	16.72	78.48	13.54	60.02	11.17	45.09	9.33	33.77	7.61	25.56	6.48	20.97	5.47	17.03
200	短路电流(kA)	5.46	1.34	6.90	1.53	8.32	1.81	10.34	2.35	12.92	2.58	15.86	3.12	19.43	3.70	13.59	2.79	16.81	3.66	20.43	4.86	24.49	6.49	30.03	8.58	35.33	10.46	41.82	12.89
	计算电阻(mΩ)	13.36	22.61	9.94	19.68	7.15	17.01	5.65	14.85	4.03	9.37	3.10	7.06	2.48	5.73	2.56	6.20	1.90	4.36	1.41	3.86	1.06	3.05	0.81	2.18	0.64	1.54	0.50	1.16
	计算电抗(mΩ)	39.63	162.97	31.52	142.50	26.44	120.31	21.23	92.34	17.06	84.47	13.89	69.90	11.30	58.97	16.45	78.30	13.27	59.84	10.90	44.91	9.06	33.59	7.34	25.38	6.21	20.79	5.20	16.85
	短路电流(kA)	5.50	1.34	6.96	1.53	8.40	1.81	10.47	2.35	13.12	2.59	16.16	3.13	19.88	3.71	13.81	2.80	17.15	3.67	20.93	4.88	25.22	6.52	31.17	8.64	36.86	10.55	44.06	13.03
300	计算电阻(mΩ)	13.31	22.58	9.89	19.65	7.10	16.98	5.60	14.82	3.98	9.34	3.05	7.03	2.43	5.70	2.51	6.17	1.85	4.33	1.36	3.83	1.01	3.02	0.76	2.15	0.59	1.51	0.45	1.13
	计算电抗(mΩ)	39.10	162.62	30.99	142.15	25.91	119.96	20.70	91.99	16.53	84.12	13.36	69.55	10.77	58.62	15.92	77.95	12.74	59.49	10.37	44.56	8.53	33.24	6.81	25.03	5.68	20.44	4.67	16.50
	短路电流(kA)	5.57	1.34	7.06	1.53	8.56	1.82	10.73	2.36	13.53	2.60	16.79	3.15	20.83	3.74	14.27	2.81	17.87	3.69	21.99	4.92	26.78	6.59	33.58	8.76	40.28	10.73	49.04	13.30

注 1. 由于 SC(B)9 与 SC(B)10 阻抗平均值相近, 故该表也可用于 SC(B)10。  
2. 表中母线规格用于 TN-C 系统, 若为 TN-S 系统, 再增加一条相母线。

S9、S9-M系列10(6)kV、0.4kV变压器低压侧短路电流值(Dyn11联结)

高压侧 系统短 路容量 (MVA)	200		250		315		400		500		630		800		1000		1250		1600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	4										4.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	4×(40×4)										3×(50×5)+ 40×4										3×(63×6.3)+ 40×4										3×(80×8)+ 50×5										3×(100×8)+ 63×6.3										3×(125×10)+ 80×6.3										3×[2×(100× 10)]+80×8										3×[2×(125× 10)]+80×10																																																																																																																																																																																																																																																												
	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)	三相 单相接 地相保 阻(mΩ)	三相 正、负序 地相保 阻(mΩ)

注 表中母线规格用于 TN-C 系统, 若为 TN-S 系统, 再增加一条母线。



# 第4章 继电保护

## 1 一般要求

继电保护的设计应以合理的运行方式和可能的故障类型为依据,并应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性四项基本要求。

1) 可靠性是指保护该动作时应动作,不该动作时不动作。为保证可靠性,宜选用可能的最简单的保护方式,应采用由可靠的元件和尽可能简单的回路构成的良好的装置,并应具有必要的检测、闭锁和双重化等措施。保护装置应便于整定、调试和运行维护,数字式保护装置应具有可靠的硬件和软件。

2) 选择性是指首先由故障设备或线路本身的保护切除故障。当故障设备或线路本身的保护或断路器拒动时,才允许由相邻设备、线路的保护或断路器失灵保护切除故障。为保证选择性,对相邻设备和线路有配合要求的保护和同一保护内有配合要求的两元件(如起动与跳闸元件或闭锁与动作元件),其灵敏系数及动作时间,在一般情况下应配合。

在某些条件下必须加速切除短路时,可使保护无选择性动作,但必须采取补救措施,如采用自动重合闸或备用电源自动投入来补救。

3) 灵敏性是指在设备或线路的被保护范围内发生金属性短路时,保护装置应具有必要的灵敏系数。灵敏系数应根据不利的正常(含正常检修)运行方式和不利的故障类型计算,但可不考虑可能性很小的情况。

灵敏系数  $K_m$  为被保护区发生短路时,流过保护安装处的最小短路电流  $I_{k \cdot \min}$  与保护装置一次动作电流  $I_{dz}$  的比值,即

$$K_m = \frac{I_{k \cdot \min}}{I_{dz}} \quad (4.4-1)$$

对多相短路保护,  $I_{k \cdot \min}$  取两相短路电流最小值  $I_{k2 \cdot \min}$ ; 对 35kV、6~10kV 中性点不接地系统的单相短路保护,取单相接地电容电流最小值  $I_{c \cdot \min}$ ; 对 220/380V 中性点接地系统的单相短路保护,取单相接地电流最小值  $I_{k1 \cdot \min}$ 。

各类短路数字保护的最小灵敏系数列于表 4.4-1。

表 4.4-1 短路保护的最小灵敏系数

保护分类	保护类型	组成元件	灵敏系数	备 注
主保护	带方向和不带方向的电流保护或电压保护	电流元件和电压元件	1.3~1.5	200km 以上线路,不小于 1.3; 50~200km 线路,不小于 1.4; 50km 以下线路,不小于 1.5
		零序或负序方向元件	1.5	
	线路纵联保护	跳闸元件	2.0	个别情况下,为 1.3
		对高阻接地故障的测量元件	1.5	
	变压器、电动机纵差保护	差电流元件的起动电流	1.5	按保护安装处短路计算
	变压器、线路和电动机的电流速断保护	电流元件	1.5	

续表

保护分类	保护类型	组成元件	灵敏系数	备 注
后备保护	远后备保护	电流、电压和阻抗元件	1.2	按相邻电力设备和线路末端短路计算(短路电流应为阻抗元件精确工作电流 1.5 倍以上),可考虑相继动作
		零序或负序方向元件	1.5	
	近后备保护	电流、电压和阻抗元件	1.3	按线路末端短路计算
		负序或零序方向元件	2.0	
辅助保护	电流速断保护		1.2	按正常运行方式保护安装处短路计算

注 1. 主保护的灵敏系数除表中注出者外,均按被保护线路(设备)末端短路计算。

2. 保护装置如反应故障时增长的量,其灵敏系数为金属性短路计算值与保护整定值之比;如反应故障时减少的量,则为保护整定值与金属性短路计算值之比。

3. 各种类型的保护中,接于全电流和全电压的方向元件的灵敏系数不作规定。

4. 本表内未包括的其他类型的保护,其灵敏系数另作规定。

4) 速动性是指保护装置应能尽快地切除短路故障,其目的是提高系统稳定性,减轻故障设备和线路的损坏程度,缩小故障波及范围,提高自动重合闸和备用电源或备用设备自动投入的效果等。

5) 配电系统中的电力设备和线路应装设短路故障保护,短路故障保护有主保护和后备保护,必要时可再增设辅助保护。

主保护是满足系统稳定和设备安全要求,能以最快速度有选择地切除被保护设备和线路故障的保护。

后备保护是主保护或断路器拒动时,用以切除故障的保护。后备保护可分为远后备和近后备两种方式。

远后备是当主保护或断路器拒动时,由相邻电力设备或线路的保护来实现的后备。近后备是由本电力设备或线路的另一套保护实现后备的保护。

辅助保护是为补充主保护和后备保护的性能或当主保护和后备保护退出运行而增设的简单保护。

6) 如果为了满足相邻保护区末端短路时的灵敏性要求,将使保护过分复杂或在技术上难以实现时,可按下列原则处理:

① 在变压器后短路的情况下,可缩短后备保护作用的范围。

② 后备保护灵敏系数可仅按常见的运行方式和故障类型进行验算。

③ 后备保护可无选择地动作,但应尽量采用自动重合

闸或备用电源自动投入装置来补救。

7) 保护装置用电流互感器带实际二次负荷在稳态短路电流下的准确限值系数或励磁特性(含饱和拐点)应能满足所接保护装置动作可靠性的要求。

8) 在配电系统正常运行情况下,当电压互感器的二次回路断线或其他故障能使保护装置误动作时,应装设自动闭锁装置,将保护解除动作并发出信号。当保护装置不致误动作时,一般只装设电压回路断线信号装置。

9) 在确定继电保护的配置方案时,应优先选用具有成熟运行经验的数字式装置。

## 2. 数字式(微机)继电保护装置的特点

### (1) 可靠性高

数字保护的软件设计,考虑到电力系统中各种复杂的故障,具有很强的综合分析能力和判断能力,因此可靠性较高。此外数字保护装置的自检和巡检功能也提高了可靠性。

### (2) 动作正确率高

由于数字保护软件计算的实时性特点,数字保护装置能保证在任何时刻均不断迅速地采样计算,反复准确地校核。在电力系统发生故障的暂态时期内,就能正确判断故障,当故障发生了变化或进一步发展,也能及时作出判断和自纠。因此数字保护的動作正确率高,在运行中已得到证实。

### (3) 保护性能容易得到改善

由于数字保护软件可方便改写的特点,所以保护的性能够通过研究新的保护原理来得到改善,且现代新原理的算法无法用硬件来实现。

### (4) 易于获得各种附加功能

由于数字保护软件的特点,使得数字保护可以做到硬件和软件资源共享,在不增加任何硬件的情况下,只需增加一些软件即可获得各种附加功能。例如在数字保护装置中,可很方便地附加低频减载和自动重合闸功能,故障录波、故障测距等自动装置功能。

### (5) 使用灵活、方便

目前数字保护装置的人机界面做得很好,也很简单方便。例如汉化界面、数字保护的查询、运行方式变化及整定更改等都十分灵活方便。

### (6) 维护、调试方便

数字保护除输入量的采集外,所有计算、逻辑判断都是由软件完成。成熟的软件一次性设计测试完好后,就不必在投产前再逐项试验。数字保护对硬件和软件都有自检功能,装置通电后硬件、软件有故障就会立即报警。因此对数字保护装置几乎不用调试,需要调试的主要项目也在制造厂完成,投运前做一次静态和动态试验即可运行。

### (7) 具有远方监控特性

数字保护装置都具有串行通信功能,与变电所数字监控系统的通信联络使数字保护具有远方监控的特点,并将数字保护纳入变电站综合自动化系统。

## 3 电力变压器的保护

### 3.1 设计规范对保护配置要求

1) 对电力变压器的下列故障及异常运行方式,应装设相应的保护装置:

① 绕组及其引出线的相间短路和在中性点直接接地侧的单相接地短路。

② 绕组的匝间短路。

③ 外部相间短路引起的过电流。

④ 中性点直接接地电力网中外部接地短路引起的过电流及中性点过电压。

⑤ 过负荷。

⑥ 油面降低。

⑦ 变压器温度升高或油箱压力升高或冷却系统故障。

2) 0.8MVA 及以上的油浸式变压器和 0.4MVA 及以上的车间内油浸式变压器,均应装设瓦斯保护。当壳内故障产生轻微瓦斯油面下降时,应瞬时动作于信号。当产生大量瓦斯时,应动作于断开变压器各侧断路器。当变压器安装处电源侧无断路器或短路开关时,可作用于信号。

3) 对变压器引出线、套管及内部的短路故障,应装设相应的保护装置并应符合下列规定:

① 10MVA 及以上的单独运行变压器和 6.3MVA 及以上的并列运行变压器,应装设纵联差动保护。6.3MVA 及以下单独运行的变压器,也可装设纵联差动保护。

② 10MVA 以下的变压器可装设电流速断保护和过电流保护。2MVA 以上的变压器,当电流速断灵敏系数不符合要求时,宜装设纵联差动保护。

③ 0.4MVA 及以上,一次电压为 10kV 及以上,绕组为三角—星形联结的变压器,可采用两相三继电器式的过流保护。

④ 本条规定的各项保护装置,应动作于断开变压器的各侧断路器。

4) 变压器的纵联差动保护应符合下列要求:

① 应能躲过励磁涌流和外部短路产生的不平衡电流。

② 差动保护范围应包括变压器套管及其引出线。如不能包括引出线时,应采取快速切除故障的辅助措施。但在 63kV 电压等级的终端变电站和分支变电站,以及具有旁路母线的电气主接线在变压器断路器退出工作由旁路断路器代替时,纵联差动可利用变压器套管内的电流互感器,引出线可不再采取快速切除故障的辅助措施。

5) 对由外部相间短路引起的变压器过电流,应装设相应的保护装置。保护装置动作后,应带时限动作于跳闸,并应符合下列规定:

① 过电流保护宜用于降压变压器。

② 复合电压起动的过电流保护或低电压闭锁的过电流保护,宜用于升压变压器、系统联络变压器和过电流不符合灵敏性要求的降压变压器。

6) 外部相间短路保护应符合下列规定:

① 双绕组变压器,应装于主电源侧。根据主接线情况,保护装置可带一段或两段时限,以较短的时限动作于缩小故障影响范围,以较长的时限动作于断开变压器各侧断路器。

② 三绕组变压器,宜装于主电源侧及主负荷侧。主电源侧的保护应带两段时限,以较短的时限断开未装保护侧的断路器。当不符合灵敏性要求时,可在所有各侧装设保护装置。各侧保护装置应根据选择性的要求装设方向元件。

7) 三绕组变压器的外部相间短路保护,可按下列原则进行简化:

① 除主电源侧外,其他各侧保护可仅作本侧相邻电力设备和线路的后备保护。

② 保护装置作为本侧相邻电力设备和线路保护的后备时,灵敏系数可适当降低,但对本侧母线上的各类短路应符合灵敏性要求。

8) 高压侧为单电源, 低压侧无电源的降压变压器, 不宜装设专门的零序保护。

9) 0.4MVA 及以上, 绕组为星形—星形联结低压侧中性点直接接地的变压器, 对低压侧单相接地短路应选择下列保护方式, 保护装置应带时限动作于跳闸。

① 利用高压侧的过电流保护时, 保护装置宜采用三相式。

② 接于低压侧中性线上的零序电流保护。

③ 接于低压侧的三相电流保护。

10) 0.4MVA 及以上, 一次电压为 10kV 及以下, 绕组为三角—星形联结; 低压侧中性点直接接地的变压器, 对低压侧单相接地短路, 当灵敏性符合要求时, 可利用高压侧的过电流保护。

保护装置带时限动作于跳闸。

11) 0.4MVA 及以上变压器, 当数台并列运行或单独

运行并作为其他负荷的备用电源时, 应根据可能过负荷的情况装设过负荷保护。对三绕组变压器, 保护装置应能反应各侧过负荷的情况。

过负荷保护采用单相式, 带时限动作于信号。在无经常值班人员的变电所, 过负荷保护可动作于跳闸或断开部分负荷。

12) 对变压器温度升高和冷却系统故障, 应按现行电力变压器标准的要求, 装设可作用于信号或动作于跳闸的装置。

### 3.2 保护配置

电力变压器的继电保护配置, 见表 4.4-2。

### 3.3 整定计算

电力变压器的各种整定计算, 见表 4.4-3。

表 4.4-2 电力变压器的继电保护配置

变压器容量 (kVA)	保护装置名称							备 注
	带时限 <sup>①</sup> 的过 电流保护	电流速 断保护	纵联差 动保护	低压侧单相接 地保护 <sup>②</sup>	过负 荷保护	瓦斯保护 <sup>③</sup>	温度保护	
<400	—	—	—	—	—	大于或等 于 315kVA 的车间 内油浸变 压器装设	—	一般用高压熔 断器保护
400~630	高压侧采用断 路器时装设	高压侧采 用断路器且 过电流保护 时 限 大 于 0.5s 时装设	—	装设		车间内变 压器装设	—	
800		—	—				—	
1000~1600	装设	过电流保 护时限大于 0.5s 时装设	—		并联运行 的变压器装 设, 作为其 他备用电源 的变压器根 据过负荷的 可能性装 设 <sup>④</sup>	装设	装设	大于或等于 5000kVA 的单 相变压器宜装 设远距离测温 装置 大于或等于 8000kVA 的变 压器宜装设远 距离测温装置
2000~5000			当电流速 断保护不能 满足灵敏性 要求时装设	—				
6300~8000		单独运行 的变压器或 负荷不太重 要的变压器 装设	并列运行 的变压器或 重要变压器 或当电流速 断保护不能 满足灵敏性 要求时装设	—				
≥10 000	装设	—	装设	—		装设	装设	

① 当带时限的过电流保护不能满足灵敏性要求时, 应采用低电压闭锁的带时限过电流保护。

② 当利用高压侧过电流保护及低压侧出线断路器保护不能满足灵敏性要求时, 应装设变压器中性线上的零序过电流保护。

③ 低压电压为 230kV/400V 的变压器, 当低压侧出线断路器带有过负荷保护时, 可不装设专用的过负荷保护。

④ 干式变压器非电量保护仅有温度保护, 10/0.4kV 配电变压器容量至 2500kVA。



表 4.4-3

电力变压器的电流保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	<p>保护装置的动作电流（应躲过可能出现的过负荷电流）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{K_{gh} I_{1rT}}{K_b n_1} \quad (A)$ <p>保护装置的灵敏系数 [按电力系统最小运行方式下，低压侧两相短路时流过高压侧（保护安装处）的短路电流校验]</p> $K_m = \frac{I_{2k2 \cdot \min}}{I_{dz}} \geq 1.3$ <p>保护装置的动作时限（应与下一级保护动作时限相配合），一般取 0.3~0.5s</p>	<p><math>K_k</math>—可靠系数，对微机保护用于过电流保护及用于电流速断保护时取 1.1，用于低压侧单相接地保护时（在变压器中性线上装设的）取 1.1，用于过负荷保护时取 1.05~1.1</p> <p><math>K_{jx}</math>—接线系数，接于相电流时取 1，接于相电流差时取 <math>\sqrt{3}</math></p> <p><math>K_b</math>—继电器返回系数，对微机保护取 0.9</p> <p><math>K_{gh}</math>—过负荷系数<sup>①</sup>，包括电动机自启动引起的过电流倍数，一般取 2~3，当无自启动电动机时取 1.3~1.5</p> <p><math>n_1</math>—电流互感器电流比</p> <p><math>I_{1rT}</math>—变压器高压侧额定电流，A</p>
电流速断保护	<p>保护装置的动作电流（应躲过低压侧短路时，流过保护装置的最大短路电流）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{2k3 \cdot \max}'}{n_1} \quad (A)$ <p>保护装置的灵敏系数（按系统最小运行方式下，保护装置安装处两相短路电流校验）</p> $K_m = \frac{I_{1k2 \cdot \min}'}{I_{dz}} \geq 1.5$	<p><math>I_{2k2 \cdot \min}</math>—最小运行方式下变压器低压侧两相短路时，流过高压侧（保护安装处）的稳态电流，A</p> <p><math>I_{2k2 \cdot \min} = I_{2k2 \cdot \min} / n_T</math> (Yyn0)</p> <p><math>I_{2k2 \cdot \min} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{2k2 \cdot \min} / n_T</math> (Dyn11)</p> <p><math>I_{dz}</math>—保护装置一次动作电流，A，其值为</p> <p><math>I_{dz} = I_{dzj} n_1 / K_{jx}</math></p>
低压侧单相接地保护（利用高压侧三相式过电流保护）	<p>保护装置的动作电流和动作时限与过电流保护相同</p> <p>保护装置的灵敏系数 [按最小运行方式下，低压侧母线或母干线末端单相接地时，流过高压侧（保护安装处）的短路电流校验]</p> $K_m = \frac{I_{2k1 \cdot \min}}{I_{dz}} \geq 1.3$	<p><math>I_{2k3 \cdot \max}'</math>—最大运行方式下变压器低压侧三相短路时，流过高压侧（保护安装处）的超瞬态电流，A</p> <p><math>I_{1k2 \cdot \min}'</math>—最小运行方式下保护安装处两相短路超瞬态电流<sup>②</sup>，A</p> <p><math>I_{2k1 \cdot \min}</math>—最小运行方式下变压器低压侧母线或母干线末端单相接地短路时，流过高压侧（保护安装处）的稳态电流，A</p> <p>Yyn0 <math>I_{2k1 \cdot \min} = \frac{2}{3} I_{2k1 \cdot \min} / n_T</math></p> <p>Dyn11 <math>I_{2k1 \cdot \min} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_{2k1 \cdot \min} / n_T</math></p>
低压侧单相接地保护 <sup>③</sup> （采用在低压侧中性线上装设专用的零序保护）	<p>保护装置的动作电流（应躲过正常运行时，变压器中性线上流过的最大不平衡电流，其值按国家标准 GB 1094.1~5《电力变压器》规定，不超过额定电流的 25%）</p> $I_{dzj} = K_k 0.25 I_{2rT} / n_1 \quad (A)$ <p>保护装置的动作电流尚应与低压出线上的零序保护相配合</p> $I_{dzj} = K_{ph} I_{dz \cdot lx} / n_1 \quad (A)$ <p>保护装置的灵敏系数（按最小运行方式下，低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流校验）</p> $K_m = \frac{I_{22k1 \cdot \min}}{I_{dz}} \geq 1.3$ <p>保护装置的动作时限一般取 0.3~0.5s</p>	<p><math>I_{2k1 \cdot \min}</math>—最小运行方式下变压器低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流，A</p> <p><math>n_T</math>—变压器变比</p> <p><math>K_{ph}</math>—配合系数，取 1.1</p> <p><math>I_{dz \cdot lx}</math>—低压分支线上零序保护的动作电流，A</p> <p><math>I_{2rT}</math>—变压器低压侧额定电流</p> <p><math>K_b</math>—电压继电器返回系数，取 1.1</p> <p><math>n_y</math>—电压互感器变比</p> <p><math>U_{\min}</math>—运行中可能出现的最低工作电压（如电力系统电压降低，大容量电动机启动及电动机自启动时引起的电压降低），一般取 0.5~0.7<math>U_{1rT}</math>（变压器高压侧母线额定电压）</p> <p><math>U_{sh \cdot \max}</math>—保护安装处的最大剩余电压，V</p>
过负荷保护	<p>保护装置的动作电流（应躲过变压器额定电流）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{1rT}}{K_b n_1} \quad (A)$ <p>保护装置的动作时限（应躲过允许的短时工作过负荷时间，如电动机启动或自启动的时间）一般定时限取 9~15s</p>	
低电压起动的带时限过电流保护	<p>保护装置的动作电流（应躲过变压器额定电流）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{1rT}}{K_b n_1} \quad (A)$ <p>保护装置的动作电压</p> $U_{dzj} = \frac{U_{\min}}{K_k K_b n_y} \quad (V)$ <p>保护装置的灵敏系数（电流部分）与过电流保护相同</p> <p>保护装置的灵敏系数（电压部分）</p> $K_m = \frac{U_{dz \cdot l}}{U_{sh \cdot \max}} = \frac{U_{dzj} n_y}{U_{sh \cdot \max}} \geq 1.3$ <p>保护装置动作时限与过电流保护相同</p>	

① 带有自启动电动机的变压器，其过负荷系数按电动机的自启动电流确定。当电源侧装设自动重合闸或备用电源自动投入装置时，可近似地用下式计算

$$K_{gh} = \frac{1}{u_k + \frac{S_{rT}}{K_q S_{M\Sigma}} \times \left( \frac{380}{400} \right)^2}$$

式中， $u_k$  为变压器的阻抗电压相对值； $S_{rT}$  为变压器的额定容量，kVA； $S_{M\Sigma}$  为需要自启动的全部电动机的总容量，kVA； $K_q$  为电动机的启动电流倍数，一般取 5。

② 两相短路超瞬态电流  $I_{1k2}'$  等于三相短路超瞬态电流  $I_{1k3}'$  的 0.866 倍。

③ Yyn0 接线变压器采用在低压侧中性线上装设专用零序互感器的低压侧单相接地保护，而 Dyn11 接线变压器可不装设。

### 3.4 变压器纵差保护的特点

变压器的纵差保护需要解决躲开流过差动回路中的不平衡电流问题。

1) 由变压器励磁涌流所产生的不平衡电流。

① 鉴别短路电流和励磁涌流波形的差别(涌流具有间断角)。

② 利用二次谐波制动(涌流中的高次谐波以二次谐波为主)。

2) 由变压器两侧电流相位不同而产生的不平衡电流。

3) 由电流互感器计算变比与实际变比不同而产生的不平衡电流。

4) 由两侧电流互感器型号不同而产生的不平衡电流。两侧电流互感器型号不同,但其伏安特性曲线应相似和拐点电压应相同。

5) 由变压器带负荷调整分接头而产生的不平衡电流。变压器带负荷调整分接头经常在改变,而差动保护的电流回路在带电的情况下是不能操作的,由此而产生不平衡电流应在纵差动保护整定值中予以考虑。

### 3.5 变压器差动保护的性能特征

1) 差动速断及比率差动保护性能。

① 差动速断保护实质上为反应差动电流的过电流继电器,用以保证在变压器内部发生严重故障时快速动作跳闸,典型出口动作时间小于15ms。

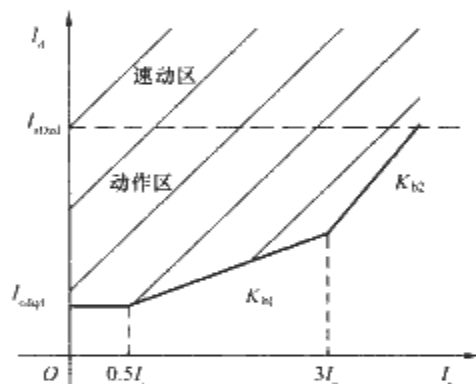


图 4.4-1 比率差动保护动作特性

② 比率差动保护的動作特性如图 4.4-1 所示,能可靠躲过外部故障时的不平衡电流。

图 4.4-1 中:  $I_d$  为动作电流,  $I_r$  为制动电流,  $I_{cld}$  为差动电流起动值,  $K_{b1}$ 、 $K_{b2}$  为比率差动制动系数,  $I_e$  为变压器的额定电流,图中阴影部分为保护动作区。

2) 采用软件调整变压器各侧电流的平衡系数方法,把各侧的额定电流都调整到保护装置的额定工作电流  $I_n$  ( $I_n = 5A$  或  $1A$ )。

3) 采用可靠的 TA 断线报警闭锁功能,保证装置在 CT 断线及交流回路故障时不误动。

4) 采用变压器接线方式整定的方法,使软件适用于变压器的任一接线方式。

5) 该保护算法的突出特点是在较高采样率的前提下,保证了在故障全过程对所有继电器的并行实时计算,装置有很高的固有可靠性及动作速度。

### 3.6 整定计算

(1) 平衡系数

对于变压器 Y 联结侧

$$K_{ph1} = \frac{U_{1n} \times n_{TA1}}{S} \leq 2.3 \quad (4.4-2)$$

对于变压器  $\Delta$  联结侧

$$K_{ph2} = \frac{\sqrt{3}U_{2n} \times n_{TA2}}{S} \leq 4 \quad (4.4-3)$$

若装置报“平衡系数错”说明平衡系数太大应改变电流互感器变比,以满足要求。

(2) 比率差动元件的起动值

一般取变压器额定电流的 30%

$$I_{cd,qd} = 0.3I_e \quad (4.4-4)$$

(3) 差动速断保护

$$I_{cd,dd} = 6I_e \quad (4.4-5)$$

(4) 比率差动制动系数

$$K_{b1} = 0.3, K_{b2} = 1 \quad (4.4-6)$$

(5) 二次谐波制动系数

$$K_{xb} = \frac{I_{d2\phi}}{I_{d\phi}} = 0.15 \sim 0.2 \quad (4.4-7)$$

式中,  $I_{d\phi}$  为三相差动电流的基波电流。

(6) 灵敏系数

$$k_m = \frac{I_{k2min}}{n_1 I_{dzj}} \geq 1.5 \quad (4.4-8)$$

式中,  $I_{k2min}$  为最小运行方式下保护区内两相短路最小短路电流;  $n_1$  为电流互感器变比;  $I_{dzj}$  为差动继电器动作电流,根据制动电流的大小在相应制动特性曲线上求得相应的动作电流。

(7) 后备保护整定计算

后备保护整定计算见表 4.4-3。

### 3.7 主变压器保护测控装置

66kV 或 35kV 变压器保护装置有主保护(差动保护)、后备保护、非电量保护,有分别设置的装置,也有设置为一套装置的。对仅配置一套主保护的装置应采用主保护与后备保护相互独立的装置。

(1) 主变压器保护功能

1) 差动速断保护。

2) 比率差动(二次谐波制动)保护。

3) 高压侧复合电压闭锁过电流保护(I、II、III段)。

4) 低压侧复合电压闭锁过电流保护(I、II、III段)。

5) 带延时的非电量保护(跳闸与信号)。

6) 过负载保护,起动风机、闭锁调压信号报警。

7) 电流互感器断线报警及闭锁比率差动保护。

8) 电压互感器断线报警。

注:不需要的功能可通过软压板解除。如过电流保护可解除复合电压闭锁。

(2) 该装置闭锁和装置告警

1) 装置本身硬件故障时发出装置闭锁信号,闭锁整套保护(只闭锁差动、过电流保护,不闭锁非电量保护)。

硬件故障包括 RAM、EPROM、定值出错和出口三极管长期导通,另外平衡系数错,接线方式错也将闭锁整套保护。

2) 当检测到下列故障时,发出运行异常报警。

① 电流互感器告警。

② 电流互感器断线(可经控制字选择是否闭锁比率差动保护)。

③ 过负荷。

④ 电压互感器断线。

⑤ 低压侧零序过电压。

### (3) 主变压器各保护环节逻辑框图

各保护环节逻辑框图,如图4.4-2~图4.4-5所示。

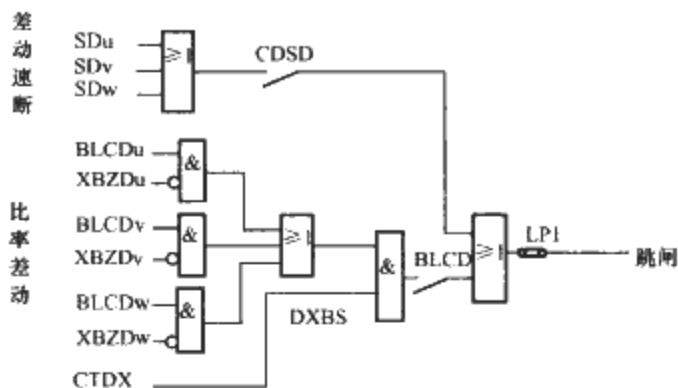


图 4.4-2 比率差动和差动速断保护逻辑框图

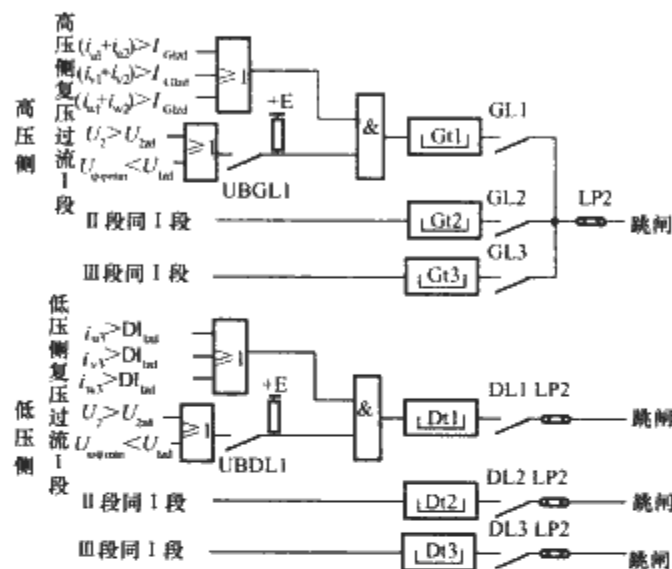


图 4.4-3 复合电压闭锁过电流保护逻辑框图

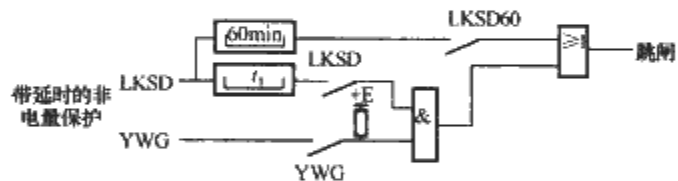


图 4.4-4 变压器非电量保护逻辑图

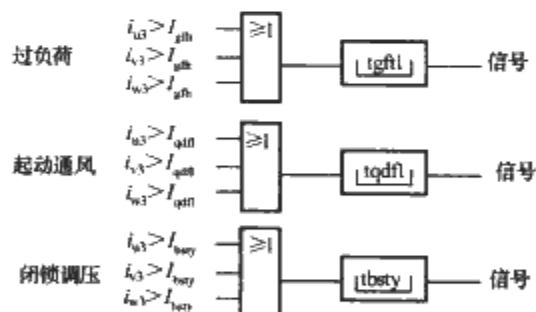


图 4.4-5 过负载、起动通风、闭锁调压保护逻辑框图

典型的变压器保护装置逻辑框图,如图4.4-6所示。

### 3.8 3~10kV 配电变压器保护测控装置

#### (1) 配电变压器保护功能

- 1) 复合电压闭锁过电流保护（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段）。
- 2) 高压侧正序反时限过电流保护。
- 3) 定时限过电流保护（Ⅰ、Ⅱ段）。
- 4) 过负载报警。
- 5) 定时限负序过电流保护（Ⅰ段用作断相保护Ⅱ段用作不平衡保护）。
- 6) 高压侧接地保护（三段定时限零序过电流保护Ⅰ段两个时限，Ⅲ段可整定为报警或跳闸；零序过电压保护支持网络小电流接地选线）。

7) 低压侧接地保护（三段定时限零序过电流保护，零序反时限过电流保护）。

8) 低电压保护。

9) 非电量保护（重瓦斯跳闸，轻瓦斯报警；超温报警或跳闸；压力释放跳闸）。

10) 独立的操作回路及故障录波。

#### (2) 装置闭锁和装置告警

1) 当装置检测到本身硬件故障时，发出装置报警信号，同时闭锁整套保护。硬件故障包括 RAM 出错、EPROM 出错、定值出错、电源故障等。

2) 当装置检测出下列问题发出运行异常报警信号。

- ① 弹簧未储能。
- ② 电压互感器断线报警。
- ③ 控制回路断线。
- ④ 跳闸位置继电器异常。
- ⑤ 频率异常。
- ⑥ 零序过电流报警。
- ⑦ 过负载报警。
- ⑧ 接地报警（零序过电压报警）。
- ⑨ 轻瓦斯报警。
- ⑩ 超温报警。
- ⑪ 备用非电量报警。

#### (3) 配电变压器测控功能

1) 遥控功能。正常遥控跳闸操作，正常遥控合闸操作，接地选线遥控跳闸。

2) 遥测功能。电流和零序电流、电压、有功、无功功率和功率因数、频率和有功、无功电量遥测。这些量都在当地实时计算，实时累加，计算不依赖于网络。

3) 通信功能：开关位置，弹簧未储能接点、重瓦斯、轻瓦斯、油温高、压力释放等非电量遥信开入，装置遥信变位以及事故遥信，并做事件顺序记录。

#### (4) 配电变压器各保护环节逻辑框图

各保护环节逻辑框图如图4.4-7~图4.4-16所示。

典型一配电变压器保护装置逻辑框图如图4.4-17所示。

典型二配电变压器保护装置逻辑框图如图4.4-18所示。

### 3.9 保护整定方式

#### (1) 高压侧接地保护

装置应用于不接地或小电流接地系统中，在系统中发生接地故障时，其接地故障点零序电流基本为电容电流，且幅值很小，用零序过电流继电器来检测接地故障很难保证其选择性。由于各装置通过网络互联，信息可以共享，故综合自动化系统采用网络小电流接地选线的方法来获得接地间隔，并通过网络下达接地试跳命令来进一步确定接地间隔。

零序过电压保护可通过控制字选择投报警或跳闸，零序过电压跳闸经 TWJ 位置闭锁。该装置由于交流输入路数的限制，零序过电压保护用电压由装置内部对三相电压相量相加自产。

如果使用网络接地选线功能，则必须投入零序过电压报警以发出接地报警信号，并整定零序过电压保护的相应定值。

在经小电阻接地系统中，接地零序电流相对较大，故采用直接跳闸方法，装置中设置三段零序过电流保护作为母线接地故障的后备保护，其中零序过电流Ⅰ段设置两段时限，零序过电流Ⅲ段可整定为报警或跳闸。

#### (2) 低压侧接地保护

装置可设置三段零序过电流保护与零序反时限保护作为低压侧接地保护。

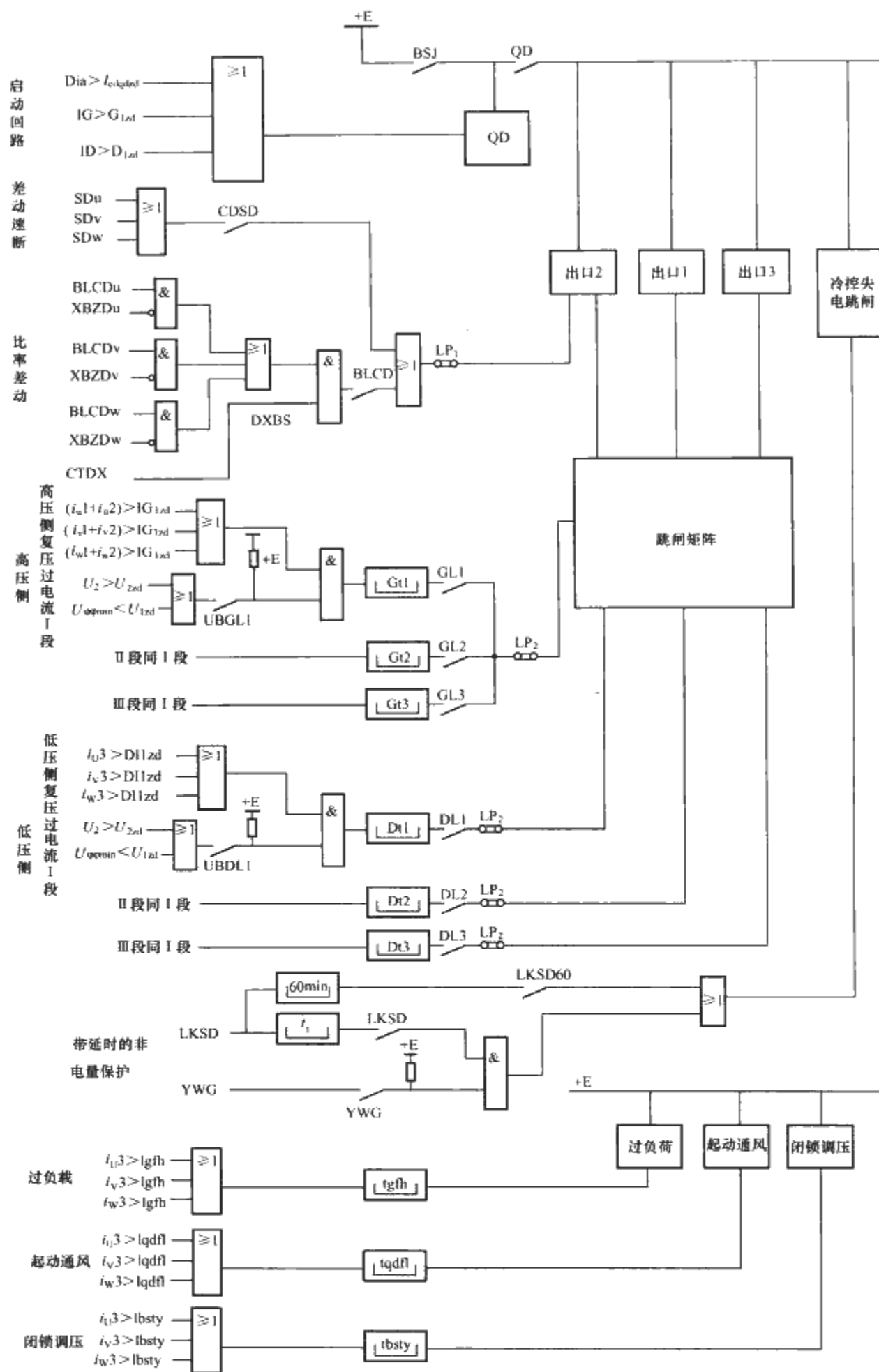


图 4.4-6 典型的变压器保护装置逻辑框图

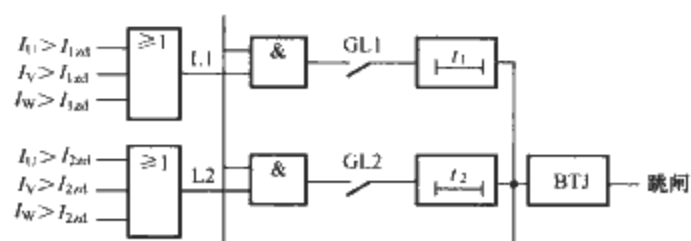


图 4.4-7 变压器过电流保护逻辑框图

装置可集成 4 种特性的零序反时限保护，可根据需要选择任何一种特性的零序反时限保护。零序反时限保护特性在装置组态—继电器参数菜单中整定。

特性 1 采用以下特性方程

$$t = \frac{1}{(I_0/I_p) - 1} t_p \quad (4.4-9)$$

式中， $I_0$  为低压侧零序电流； $t$  为动作时间； $I_p$  为零序电流基准值，取零序反时限保护基准值  $I_{0\text{fzd}}$ ； $t_p$  为与熔断器



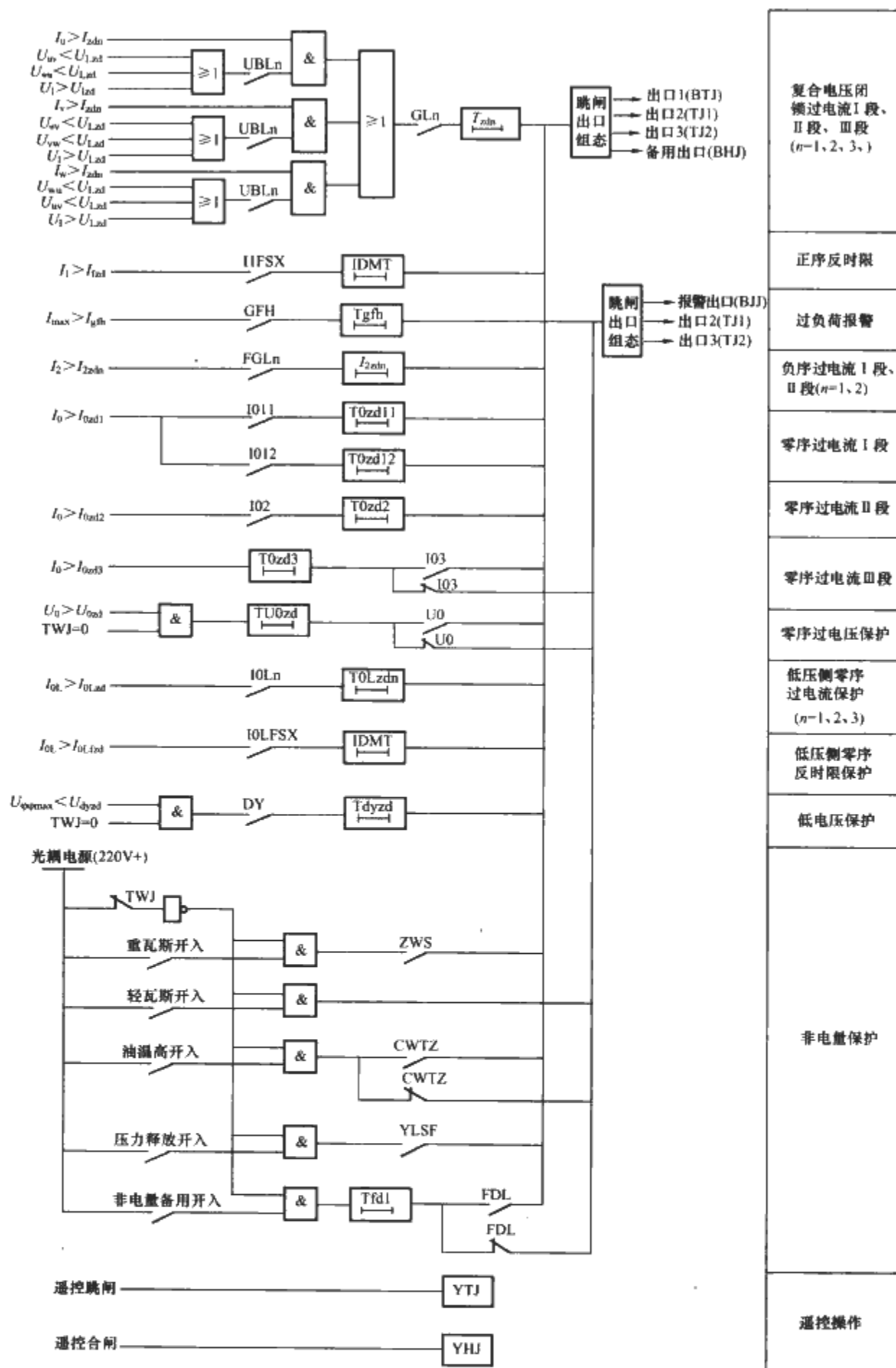


图 4.4-18 典型二配电变压器保护逻辑框图

定范围为 0~1s。

### (3) 高压侧正序反时限保护

作为反时限保护的动作用量。装置可集成 4 种特性的正序反时限保护，用户可根据需要选择任何一种特性的正序反时限保护。正序反时限保护特性在装置组态—继电器参数菜单中整定。

特性 1 采用以下特性方程式

$$t = \frac{1}{(I/I_p)^2 - 1.05^2} t_p \quad (4.4-13)$$

以上方程中， $I$  为正序电流； $t$  为动作时间； $I_p$  为电流基准值，取正序反时限保护基准值  $I_{\text{fnd}}$ ； $t_p$  为时间常数，取正序反时限保护时间常数  $T_{\text{fnd}}$ 。对于特性 1， $I_{\text{fnd}}$  可取变压器高压侧二次额定电流  $I_e$ ， $T_{\text{fnd}}$  整定范围为 1~2400s。

特性 2、3、4 采用了国际电工委员会标准 (IEC255—4) 和英国标准规范 (BS142.1966) 规定的三个标准特性方程，分别列举如下：

特性 2 (一般反时限)

$$t = \frac{0.14}{(I/I_p)^{0.02} - 1} t_p$$



特性 3 (非常反时限)

$$t = \frac{13.5}{(I/I_p) - 1} t_p$$

特性 4 (极端反时限)

$$t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} t_p$$

以上三个方程式中,  $I$  为正序电流;  $t$  为动作时间;  $I_p$  为电流基准值, 取正序反时限保护基准值  $I_{\text{bd}}$ ;  $t_p$  为时间常数, 取正序反时限保护时间常数  $T_{\text{bd}}$ 。对于特性 2、3、4,  $I_{\text{bd}}$  可取  $1.05 \sim 1.3 I_c$ ,  $T_{\text{bd}}$  整定范围为  $0 \sim 1\text{s}$ 。

由于正序电流的计算方法与电流互感器配置方式有关, 故对于只装 U、W 相电流互感器的情况, 装置组态—交流输入组态菜单中两相式保护 TA 必须整定为“1”。

4 3~63kV 线路的保护

4.1 设计规范对保护配置要求

1) 对 3~63kV 线路的下列故障或异常运行, 应装设相应的保护装置。

- ① 相间短路。
- ② 单相接地。
- ③ 过负荷。

2) 对 3~63kV 线路装设相间短路保护装置, 应符合下列要求:

- ① 由电流继电器构成的保护装置, 应接于两相电流互感器上, 同一网络的所有线路均应装在相同的两相上。
- ② 后备保护应采用远后备方式。
- ③ 当线路短路使发电厂厂用母线或重要用户母线电压低于额定电压的 60% 时, 以及线路导线截面路过小, 不允许带时限切除短路时, 应快速切除故障。
- ④ 当过电流保护的时限不大于  $0.3 \sim 0.5\text{s}$  时, 且没有第③款所列的情况, 或没有配合上的要求时, 可不装设瞬动的电流速断保护。

3) 在 3~10kV 线路装设相间短路保护装置, 应符合下列要求:

- ① 对单侧电源线路可装设两段过电流保护: 第一段为不带时限的电流速断保护; 第二段为带时限的过电流保护。可采用定时限或反时限特性的继电器。对单侧电源带电抗器的线路, 当其断路器不能切断电抗器前的短路时, 不应装设电流速断保护, 此时, 应由母线保护或其他保护切除电抗器前的故障。

保护装置仅在线路的电源侧装设。

- ② 对双侧电源线路, 可装设带方向或不带方向的电流速断和过电流保护。对  $1 \sim 2\text{km}$  双侧电源的短线路, 当采用上述保护不能满足选择性、灵敏性或速动性的要求时, 可采

用光纤电流纵差保护作主保护, 并装设带方向或不带方向的电流保护作后备保护。

对并列运行的平行线路宜装设横联差动保护作为主保护, 并应以接于两回线电流之和的电流保护, 作为两回线同时运行的后备保护及一回线断开后的主保护及后备保护。

4) 对 35~63kV 线路, 可按下列要求装设相间短路保护装置:

- ① 对单侧电源线路可采用一段或两段电流速断或电流闭锁电压速断作主保护, 并应以带时限过电流保护作后备保护。

当线路发生短路, 使发电厂厂用母线电压或重要用户母线电压低于额定电压的 60% 时, 应能快速切除故障。

- ② 对双侧电源线路可装设带方向或不带方向的电流电压保护。

当采用电流电压保护不能满足选择性、灵敏性和速动性要求时, 可采用距离保护装置。

双侧电源或环形网络中, 不超过  $3 \sim 4\text{km}$  的短线路, 当采用电流电压保护不能满足要求时, 可采用光纤电流纵差保护作主保护, 并应以带方向或不带方向的电流电压保护作后备保护。

- ③ 对并列运行的平行线路, 可装设横联差动保护作主保护, 并应以接于两回线电流之和的阶段式保护或距离保护作为两回线同时运行的后备保护及一回线断开后的主保护及后备保护。

5) 对 3~63kV 中性点非直接接地电力网中的单相接地故障, 应装设接地保护装置, 并应符合下列规定:

- ① 在发电厂和变电所母线上, 应装设接地监视装置, 动作于信号。
- ② 线路上宜装设有选择性的接地保护, 并动作于信号。当危及人身和设备安全时, 保护装置应动作于跳闸。
- ③ 在出线回路数不多, 或难以装设选择性单相接地保护时, 可采用依次断开线路的方法, 寻找故障线路。

6) 对可能时常出现过负荷的电缆线路, 应装设过负荷保护。保护装置宜带时限动作于信号; 当危及设备安全时, 可动作于跳闸。

4.2 保护配置

3~63kV 线路的继电保护配置, 见表 4.4-4。

4.3 整定计算

6~10kV 线路的继电保护整定计算, 见表 4.4-5。

35~63kV 线路的继电保护整定计算, 见表 4.4-6。

表 4.4-4 3~63kV 线路的继电保护配置

被保护线路	保护装置名称					备 注
	无时限或带时限电 流电压速断	无时限电流 速断保护①	带时限速 断保护	过电流 保护	单相接地 保护	
单侧电源 放射式单回 线路	35~63kV 线路 装设	自重要配电所 引出的线路装设	当无时限电流 速断不能满足选 择性动作时装设	装设	根据需要装设	当过电流保护的时限不 大于 $0.3 \sim 0.5\text{s}$ , 且没有保 护配合上的要求时, 可不 装设电流速断保护

① 无时限电流速断保护范围, 应保证切除所有使该母线残压低于  $50\% \sim 60\%$  额定电压的短路。为满足这一要求, 必要时保护装置可无选择地动作, 并以自动装置来补救。

表 4.4-5

6~10kV 线路的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	<p>保护装置的动作电流（应躲过线路的过负载电流）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{gh}}{K_h n_l}$ <p>保护装置的灵敏系数（按最小运行方式下线路末端两相短路电流校验）</p> $K_{in} = \frac{I_{2k2 \cdot \min}}{I_{dz}} \geq 1.3$ <p>保护装置的动作时限，应较相邻元件的过电流保护大一时限阶段，一般大 0.3~0.5s</p>	<p><math>K_k</math>—可靠系数，对微机保护用于过电流保护及用于电流速断保护时取 1.1</p> <p><math>K_{jx}</math>—接线系数，接于相电流时取 1，接于相电流差时取 <math>\sqrt{3}</math></p> <p><math>K_h</math>—继电器返回系数，对微机保护取 0.9</p> <p><math>n_l</math>—电流互感器变比</p> <p><math>I_{gh}</math>③—线路过负载（包括电动机起动所引起的）电流，A</p> <p><math>I_{2k2 \cdot \min}</math>—最小运行方式下，线路末端两相短路稳态电流，A</p> <p><math>I_{dz}</math>—保护装置一次动作电流，A</p> $I_{dz} = I_{dzj} \frac{n_l}{K_{jx}}$
无时限电流速断保护	<p>保护装置的动作电流（应躲过线路末端短路时最大三相短路电流①②）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{2k3 \cdot \max}''}{n_l}$ <p>保护装置的灵敏系数（按最小运行方式下线路始端两相短路电流校验）</p> $K_m = \frac{I_{1k2 \cdot \min}}{I_{dz}} \geq 1.5$	<p><math>I_{2k3 \cdot \max}''</math>—最大运行方式下线路末端三相短路超瞬态电流，A</p> <p><math>I_{1k2 \cdot \min}''</math>—最小运行方式下线路始端两相短路超瞬态电流④，A</p> <p><math>K_{ph}</math>—配合系数，取 1.1</p> <p><math>I_{dz \cdot 3}</math>—相邻元件的电流速断保护的一次动作电流，A</p> <p><math>I_{3k3 \cdot \max}</math>—最大运行方式下相邻元件末端三相短路稳态电流，A</p> <p><math>I_{cx}</math>—被保护线路外部发生单相接地故障时，从被保护元件流出的电容电流，A</p> <p><math>I_{c\Sigma}</math>—电网的总单相接地电容电流⑤，A</p>
带时限电流速断保护	<p>保护装置的动作电流（应躲过相邻元件末端短路时的最大三相短路电流或与相邻元件的电流速断保护的动作电流相配合，按两个条件中较大者整定）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{3k3 \cdot \max}}{n_l}$ <p>或</p> $I_{dzj} = K_{ph} K_{jx} \frac{I_{dz \cdot 3}}{n_l}$ <p>保护装置的灵敏系数与无时限电流速断保护的公式相同</p> <p>保护装置的动作时限，应较相邻元件的电流速断保护大一个时限阶段，一般大 0.3~0.5s</p>	
单相接地保护	<p>保护装置的一次动作电流（按躲过被保护线路外部单相接地故障时，从被保护元件流出的电容电流及按最小灵敏系数 1.3 整定）</p> $I_{dz} \geq K_k I_{cx}$ <p>和</p> $I_{dz} \leq \frac{I_{c\Sigma} - I_{cx}}{1.3}$	

① 如为线路变压器组，应按配电变压器整定计算。

② 当保证母线上具有规定的残余电压时，线路的最小允许长度按下式计算

$$K_x = \frac{-\beta K_1 + \sqrt{1 + \beta^2 - K_1^2}}{\sqrt{1 + \beta^2}}$$

$$l_{\min} = \frac{X_{x \cdot \min}}{R_l} \cdot \frac{-\beta + \sqrt{\frac{K_k^2 a^2}{K_x^2} (1 + \beta^2) - 1}}{1 + \beta^2}$$

式中， $K_x$  为计算运行方式下电力系统最小综合电抗  $X_{x \cdot \min}$  上的电压与额定电压之比； $\beta$  为每千米线路的电抗  $X_l$  与有效电阻  $R_l$  之比； $K_1$  为母线上残余相间电压与额定相间电压之比，其值等于母线上最小允许残余电压与额定电压之比，取 0.6； $R_l$  为每 km 线路的有效电阻， $\Omega/\text{km}$ ； $X_{x \cdot \min}$  为按电力系统在最大运行方式下，在母线上的最小综合电抗， $\Omega$ ； $K_k$  为可靠系数，一般取 1.2； $a$  表示电力系统运行方式变化的系数，其值等于电力系统最小运行方式时的综合电抗  $X_{x \cdot \max}$  与最大运行方式时的综合电抗  $X_{x \cdot \min}$  之比。

③ 电动机自起动时的过负载电流按下式计算

$$I_{gh} = K_{gh} I_{g \cdot d} = \frac{I_{g \cdot d}}{u_k + Z_{\cdot II} + \frac{S_{IT}}{K_q S_{M\Sigma}}}$$

式中， $I_{g \cdot d}$  为线路工作电流，A； $K_{gh}$  为需要自起动的全部电动机，在起动时所引起的过电流倍数； $u_k$  为变压器阻抗电压相对值； $Z_{\cdot II}$  为以变压器额定容量为基准的线路阻抗标幺值； $S_{IT}$  为变压器额定容量，kVA； $S_{M\Sigma}$  为需要自起动的全部电动机容量，kVA； $K_q$  为电动机起动时的电流倍数。

④ 两相短路超瞬态电流  $I_{2k2}''$  等于三相短路超瞬态电流  $I_{3k3}''$  的 0.866 倍。

⑤ 电网单相接地电容电流计算，详见第 3 章。





图 4.4-20 过负载保护逻辑框图

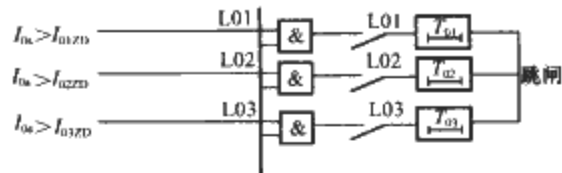


图 4.4-21 零序过电流保护逻辑框图

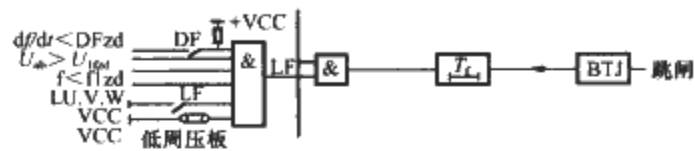


图 4.4-22 低周减载保护逻辑框图

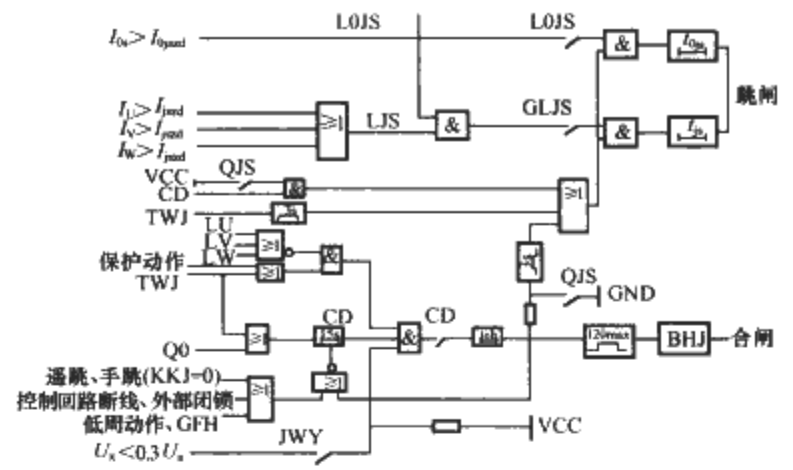


图 4.4-23 自动重合闸、合闸加速过电流保护逻辑框图

典型线路保护装置逻辑框图，如图 4.4-24 所示。

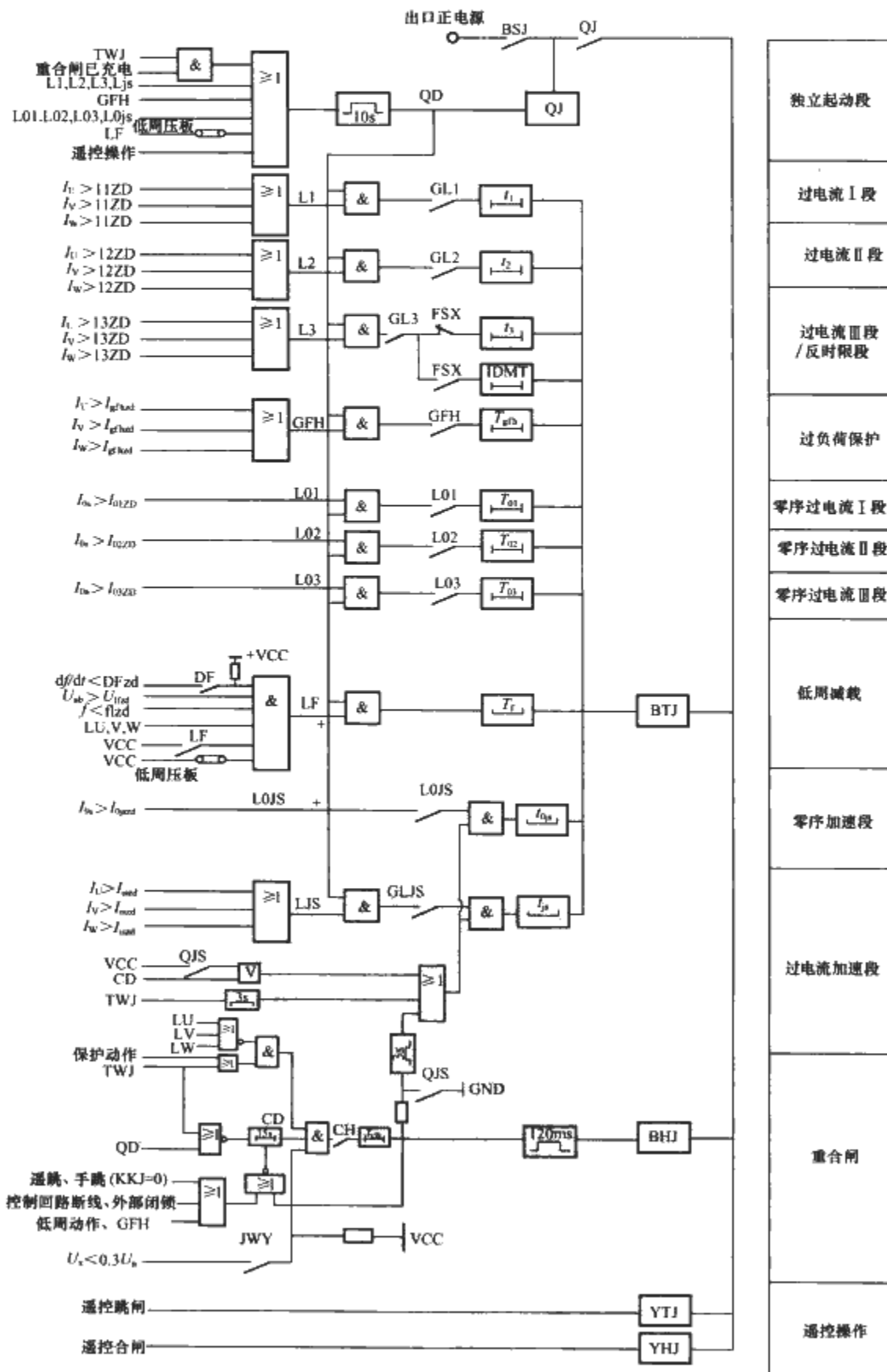


图 4.4-24 典型线路保护装置逻辑框图

(4) 保护整定方式

装置可设三段定时限过电流保护,各段电流及时间定值可独立整定,分别设置整定控制字控制这三段保护的投退。其中过电流Ⅲ段可通过控制字 FSX 选择采用定时限还是反时限(若为1,则过电流Ⅲ段为反时限段,若为0,则过电流Ⅲ为定时限段)。根据国际电工委员会(IEC 255—4)和英国标准规范(BS 142.1996)的规定,一般采下列三个标准特性方程:

一般反时限

$$t = \frac{0.14}{(I/I_p)^{0.02} - 1} t_p$$

非常反时限

$$t = \frac{13.5}{(I/I_p) - 1} t_p$$

极端反时限

$$t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} t_p$$

式中,  $I_p$  为电流基准值,取过电流Ⅲ段定值  $I_{3sd}$ ;  $t_p$  为时间常数,取过电流Ⅲ段时间定值  $T_{3sd}$ ,范围为0~1s。其中反时限特性可由控制字 FSXTX 选择(1为一般反时限,2为非常反时限,3为极端反时限)。

4.5 线路光纤电流纵差保护测控装置

(1) 光纤电流纵差保护

由于装置的通信方式为异步通信方式且采用较低的通信波特率,为提高差动继电器可利用的数据采样密度,装置必须压缩两侧需交换的数据量,故差动继电器实现时取两侧电流综合量而未采用分相电流差动。其差动方程如下

$$DI_{\Sigma} = |\dot{I}_{\Sigma L} + \dot{I}_{\Sigma R}| - 0.7(|\dot{I}_{\Sigma L}| + |\dot{I}_{\Sigma R}|) \geq 0.3\dot{I}_{\Sigma N}$$

式中,  $\dot{I}_{\Sigma L}$  为本侧电流综合量;  $\dot{I}_{\Sigma R}$  为对侧电流综合量;  $\dot{I}_{\Sigma N}$  为额定工况下的电流综合量。

电流综合量为

$$I_{\Sigma} = I_1 + 6I_2$$

差动保护实现的逻辑框图如图 4.4-25 所示。

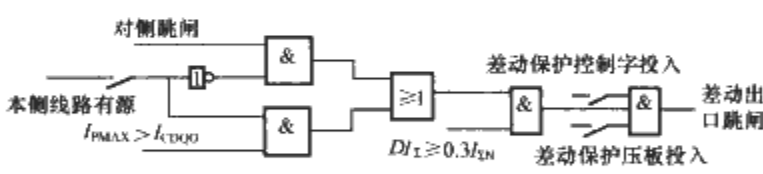


图 4.4-25 差动保护逻辑框图

(2) 光纤电流纵差保护装置

1) 光纤电流纵差保护装置保护与测控功能。装置适用于110kV以下电压等级的非直接接地系统或小电阻接地系统中的短线路光纤电流纵差和电流电压保护及测控装置。可在开关柜就地安装。

保护方面的主要功能有:①短线路光纤电流纵差保护;②三段式可经低电压闭锁的定时限方向过电流保护,其中第三段可整定为反时限段;③零序过电流保护/小电流接地选线;④三相一次重合闸(检无压、同期、不检);⑤一段定值可分别独立整定的合闸加速保护(可选前加速或后加速);⑥低周减载保护等;⑦独立的操作回路及故障录波。

测控方面的主要功能有:①8路遥信开入采集、装置遥信变位、事故遥信;②正常断路器遥控分合、小电流接地选测遥控分合;③ $U_U$ 、 $U_V$ 、 $U_W$ 、 $U_0$ 、 $U_{UV}$ 、 $U_{VW}$ 、 $U_{WU}$ 、 $I_U$ 、 $I_W$ 、 $P$ 、 $Q$ 、 $\cos\varphi$ 、 $F14$ 个模拟量的遥测;④开关事故分合次数统计及事件 SOE 等;⑤4路脉冲输入。

2) 技术数据。

① 额定数据:

直流电源	220V, 110V, 允许偏差+15%和-20%
交流电压	100/ $\sqrt{3}$ V, 100V
交流电流	5A, 1A
频率	50Hz

② 功耗:

交流电压	小于0.5VA/相
交流电流	小于1VA/相 ( $I_n=5A$ ) 小于0.5VA/相 ( $I_n=1A$ )
直流回路	正常小于15W 跳闸小于25W

③ 主要技术指标:

a. 光纤纵差保护

光纤接头方式	ST 型
光纤类型	多模光纤
推荐传输距离	小于2km(若线路长度大于2km,订货时请特别声明,光纤接口需另行处理)

通信方式	异步通信
传输速率	9600bit/s
纵差保护固有动作时间	小于50ms

b. 定时限过电流

电流定值	$0.1I_n \sim 20I_n$
时间定值	0~100s
定值误差	小于5%

c. 重合闸

重合闸时间	0.1~9.9s
定值误差	小于5%

d. 低频减载

低频定值	45~50Hz
低压闭锁	10~90V
df/dt 闭锁	0.3~10Hz/s
定值误差	小于5%
其中频率误差	小于0.01Hz

e. 遥测量计量等级

电流	0.2级
其他	0.5级

f. 遥信分辨率

信号输入方式	无源触点
--------	------

(3) 光纤电流纵差保护逻辑框图

各保护环节逻辑框图如图 4.4-26 所示。

5 6~10kV 母线分段断路器的保护

5.1 保护装置

6~10kV 母线分段断路器的继电保护配置见表 4.4-7。

表 4.4-7 6~10kV 母线分段断路器的继电保护配置

被保护设备	保护装置名称		备 注
	电流速断保护	过电流保护	
不并列运行的分段母线	仅在分段断路器合闸瞬间投入,合闸后自动解除	装设	对出线不多的Ⅱ、Ⅲ级负荷供电的配电所母线分段断路器,可不设保护装置

5.2 整定计算

6~10kV 母线分段断路器的继电保护整定计算见表 4.4-8。

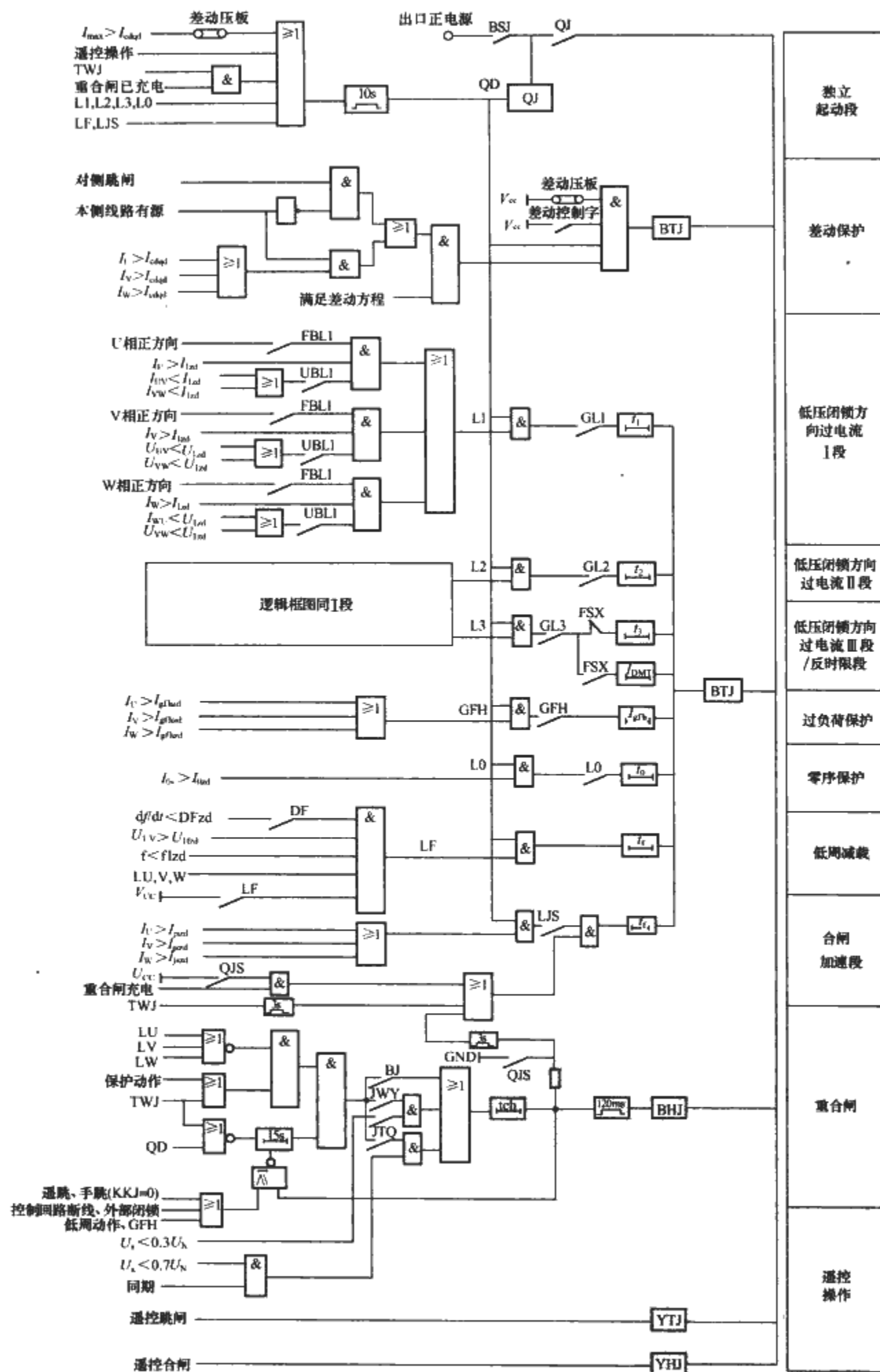


图 4.4-26 典型线路光纤纵差保护装置逻辑框图



表 4.4-8 6~10kV 母线分段断路器的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	保护装置的動作電流（應躲過任一母線段的最大負荷電流） $I_{d\cdot j} = K_k K_{jx} \frac{I_{fh}}{K_{hm}}$ 保護裝置的靈敏係數（按最小運行方式下母線兩相短路時，流過保護安裝處的短路電流校驗，對後備保護，則按最小運行方式下相鄰元件末端兩相短路時，流過保護安裝處的短路電流校驗） $K_m = \frac{I_{k2\cdot min}}{I_{d\cdot j}} \geq 1.3$ $K_m = \frac{I_{3k2\cdot min}}{I_{d\cdot j}} \geq 1.2$ 保護裝置的動作時限，應較相鄰元件的過電流保護大一時限階段，一般大於 0.3~0.5s	$K_k$ —可靠係數，對微机保護取 1.1 $K_{jx}$ —接線係數，星形接線取 1.0 $K_{hm}$ —繼電器返回係數，對微机保護取 0.9 $I_{fh}$ —一段母線最大負荷（包括電動機自動起動引起的）電流，A $n_1$ —電流互感器變比 $I_{k2\cdot min}$ —最小運行方式下母線兩相短路時，流過保護安裝處的穩態電流，A $I_{3k2\cdot min}$ —最小運行方式下相鄰元件末端兩相短路時，流過保護安裝處的穩態電流，A $I_{d\cdot j}$ —保護裝置一次動作電流，A，其值為 $I_{d\cdot j} = I_{d\cdot j} \frac{n_1}{K_{jx}}$ $I_{k2\cdot min}$ —最小運行方式下母線兩相短路時，流過保護安裝處的超瞬態電流 <sup>①</sup> ，A
電流速斷保護	保護裝置的動作電流（應按最小靈敏係數 1.5 整定） $I_{d\cdot j} \leq \frac{I'_{k2\cdot min}}{1.5n_1}$	

① 兩相短路超瞬態電流  $I'_{k2}$  等於三相短路超瞬態電流  $I'_{k3}$  的 0.866 倍。

5.3 备用电源自动投入

1) 在下列情况下，应装设备用电源的自动投入装置（以下简称自动投入装置）：

- ①具有备用电源的发电厂厂用电源和变电所所用电源。
- ②由双电源供电，其中一个电源经常断开作为备用的电源。
- ③降压变电所内有备用变压器或有互为备用的电源。
- ④有备用机组的某些重要辅机。

2) 自动投入装置的功能设计应符合下列要求：

①除发电厂备用电源快速切换外，应保证在工作电源或设备断开后，才投入备用电源或设备。

②工作电源或设备上的电压，不论何种原因消失，除手动分闸或有闭锁信号外，自动投入装置均应动作。

③自动投入装置应保证只动作一次。

3) 应校核备用电源或备用设备自动投入时过负荷及电动机自启动的情况，如过负荷超过允许限度或不能保证自启动时，应有自动投入装置动作时自动减负荷的措施。

4) 当自动投入装置动作时，如备用电源或设备投于故障，应有保护加速跳闸。

⑤ 弹簧未储能。

⑥ 频率异常。

(3) 分段断路器测控功能

1) 遥控功能：正常遥控跳闸操作，正常遥控合闸操作。

2) 遥测功能：电流，功率因数，有功、无功功率和有功、无功电量遥测。这些量都在当地实时计算，实时累加，计算不依赖于网络。

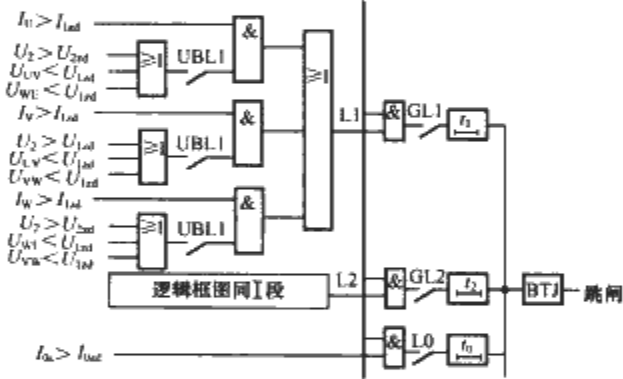


图 4.4-27 复合电压过电流保护、零序过电流保护逻辑框图

5.4 分段断路器备用电源自投保护测控装置

(1) 分段断路器备用电源自投保护功能

- 1) 复合电压闭锁的二段定时限过电流保护。
- 2) 一段零序过电流保护。
- 3) 分段断路器自投。
- 4) 三相一次重合闸（不检定）。
- 5) 合闸后加速保护（零序加速段或可经复压闭锁的过电流加速段）。

6) 独立的操作回路及故障录波。

(2) 装置闭锁和装置告警

1) 当装置检测到本身硬件故障时，发出装置报警信号，同时闭锁整套保护。硬件故障包括 RAM 出错、EPROM 出错、定值出错、电源故障。

2) 当装置检测出如下问题，发出运行异常报警信号。

- ① 跳闸位置继电器异常。
- ② 分段断路器电流不平衡（报电流互感器异常）。
- ③ I、II 段母线电压互感器断线。
- ④ 控制回路断线。

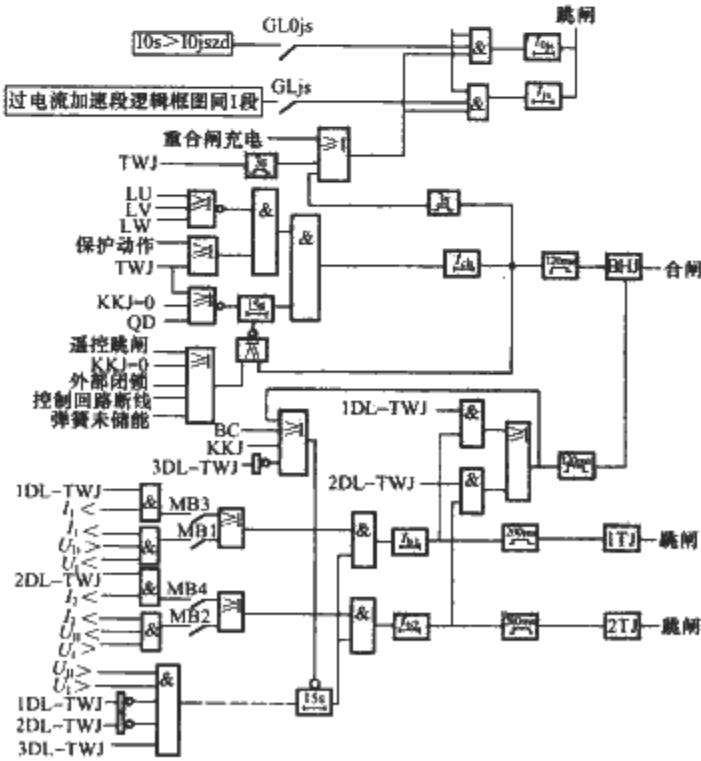


图 4.4-28 分段断路器自投、合闸后加速保护的逻辑框图



2) 并联补偿电容器组应按下列规定装设保护装置:

① 电容器组和断路器之间连接线的短路,可装设带有短时限的电流速断和过电流保护,动作于跳闸。速断保护的过电流,应按最小运行方式下,电容器端部引线发生两相短路时,有足够灵敏系数整定。过电流保护装置的动作电流,应按躲过电容器组长期允许的最大工作电流整定。

② 电容器内部故障及其引出线的短路,宜对每台电容器分别装设专用的熔断器。熔断器的额定电流可为电容器额定电流的1.5~2.0倍。

③ 当电容器组中故障电容器切除到一定数量,引起电容器端电压超过110%额定电压时,保护应将整组电容器断开。对不同接线的电容器组,可采用下列保护之一:

a. 单星形接线的电容器组可采用开口三角电压保护。

b. 多段串联单星形接线的电容器组,也可采用段间电压差动或桥式差电流保护。

c. 双星形接线的电容器组,可采用中性线不平衡电压或不平衡电流保护。

④ 电容器组单相接地故障,可利用电容器组所连接母线上的绝缘监察装置进行检出。

当电容器组所连接母线有引出线时,可按线路的单相接地保护的规定装设保护,但安装在绝缘支架上的电容器组,可不再装设单相接地保护。

⑤ 对电容器组的过电压,应装设过电压保护、带时限动作于信号或跳闸。

⑥ 对母线失电压,应装设低电压保护,带时限动作于

信号或跳闸。

3) 对于电网中出现的高次谐波有可能导致电容器过负荷时,电容器组宜装设过负荷保护,带时限动作于信号或跳闸。

## 6.2 保护配置

6~10kV电力电容器的继电保护配置,见表4.4-9。

表 4.4-9 6~10kV 电力电容器的继电保护配置

保护装置名称					
带短延时的速断保护	过电流保护	过负荷保护	单相接地保护	过电压保护	低电压保护
装设	装设	宜装设	电容器与支架绝缘时可不装设	当电压可能超过110%额定值时装设	装设

保护装置名称				
单星形开口三角电压保护	单星形桥式差电流保护	单星形电压差动保护	双星形中性线不平衡电压保护	双星形中性线不平衡电流保护
对电容器内部故障及其引出线短路装设				

## 6.3 整定计算

6~10kV电力电容器组的继电保护整定计算,见表4.4-10。

表 4.4-10 6~10kV 电力电容器组的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符 号 说 明
带有短延时的速断保护	<p>保护装置的动作电流(应按电容器组端部引线发生两相短路时,保护的灵敏系数应符合要求整定)</p> $I_{dj} \leq \frac{I_{k2 \cdot min}'}{1.5m} K_{jx}$ <p>保护装置的动作时限应大于电容器组合闸涌流时间,为0.2s</p>	<p><math>K_{jx}</math>—接线系数,接于相电流时取1,接于相电流差时取<math>\sqrt{3}</math></p> <p><math>n_1</math>—电流互感器变比</p> <p><math>I_{k2 \cdot min}'</math>—最小运行方式下,电容器组端部两相短路时,流过保护安装处的超瞬态电流, A</p>
过电流保护	<p>保护装置的动作电流(应按大于电容器组允许的长期最大过电流整定)</p> $I_{dj} = K_k K_{jx} \frac{K_{gh} I_C}{K_{hm}}$ <p>保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下电容器组端部两相短路时,流过保护安装处的短路电流校验)</p> $K_m = \frac{I_{k2 \cdot min}'}{I_{dj}} \geq 1.3$ <p>保护装置的动作时限应较电容器组短延时速断保护的时限大一时限阶段,一般大0.3~0.5s</p>	<p><math>K_k</math>—可靠系数,对微机保护过电流取1.1,过负荷取1.05~1.1</p> <p><math>K_{gh}</math>—过负荷系数,取1.3</p> <p><math>I_C</math>—电容器组额定电流, A</p> <p><math>K_m</math>—保护装置的灵敏系数</p> <p><math>I_{dj}</math>—保护装置一次动作电流, A</p> $I_{dj} = \frac{I_{dj} m}{K_{jx}}$
过负荷保护	<p>保护装置的动作电流(应按电容器组负荷电流整定)</p> $I_{dj} = K_k K_{jx} \frac{I_C}{K_{hm}}$ <p>保护装置的动作时限应较过电流保护的时限大一时限阶段,一般大0.5s</p>	<p><math>I_{bp}</math>—最大不平衡电流, A, 由测试决定</p> <p><math>\beta_c</math>—单台电容器元件击穿相对数,取0.5~0.75</p> <p><math>m</math>—每相各串联段电容器并联台数</p> <p><math>n</math>—每相电容器的串联段数</p> <p><math>U_{bp}</math>—最大不平衡零序电压, V, 由测试决定</p> <p><math>U_{ph}</math>—电容器组的额定相电压, V</p>
过电压保护	<p>保护装置的动作电压(按母线电压不超过110%额定电压值整定)</p> $U_{dj} = 1.1 U_{r2}$ <p>保护装置动作于信号或带3~5min时限动作于跳闸</p>	<p><math>n_y</math>—电压互感器变比</p> <p><math>U_{r2}</math>—电压互感器二次额定电压, V, 其值为100V</p> <p><math>K_{min}</math>—系统正常运行时母线电压可能出现的最低电压系数,一般取0.5</p>
低电压保护	<p>保护装置的动作电压(按母线电压可能出现的低电压整定)</p> $U_{dj} = K_{min} U_{r2}$	<p><math>I_{C\Sigma}</math>—电网的总单相接地电容电流, A</p> <p><math>I_{rc}</math>—单台电容器额定电流, A</p>

续表

保护名称	计算项目和公式	符号说明
单相接地保护	<p>保护装置的一次动作电流 (按最小灵敏系数 1.3 整定)</p> $I_{dz} \leq \frac{I_{cs}}{1.3}$	
开口三角电压保护 (单星形接线)	<p>保护装置的动作电压 (应躲过由于三相电容的不平衡及电网电压的不对称, 正常时所存在的不平衡零序电压, 及当单台电容器内部 50%~70% 串联元件击穿时, 或因故障切除同一并联段中的 K 台电容器时, 使保护装置有一定的灵敏系数, 即 <math>K_m \geq 1.5</math>)</p> $U_{dzj} \geq K_k U_{bp} \quad (V)$ $U_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_y} \frac{3\beta_c U_{\eta h}}{3n[m(1-\beta_c) + \beta_c] - 2\beta_c}$ <p>(每台电容器未装设专用熔断器)</p> $U_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_y} \frac{3KU_{\eta h}}{3n(m-K) + 2k}$ $K \geq \frac{3}{11} \times \frac{nm}{3n-2}$ <p>(每台电容器装设专用熔断器)</p> <p>保护动作时限 0.1~0.2s</p>	
桥式差电流保护 (单星形接线)	<p>保护装置的动作电流 (应躲过正常时, 桥中性线上电流互感器二次回路中的最大不平衡电流, 及当单台电容器内部 50%~70% 串联元件击穿时, 或因故障切除同一并联段中的 K 台电容器时, 使保护装置有一定的灵敏系数, 即 <math>K_m \geq 1.5</math>)</p> $I_{dzj} \geq K_k I_{bp} \quad A$ $I_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_l} \frac{3m\beta_c I_{rc}}{3n[m(1-\beta_c) + 2\beta_c] - 8\beta_c}$ <p>(每台电容器未装设专用熔断器)</p> $I_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_l} \frac{3mK I_{rc}}{3n(m-2K) + 8K}$ $K \geq \frac{1.5}{11} \times \frac{nm}{3n-4}$ <p>(每台电容器装设专用熔断器)</p> <p>保护动作时限 0.1~0.2s</p>	
电压差动保护 (单星形接线)	<p>保护装置的动作电压 (应躲过正常时, 电容器组两串联段上不平衡电压, 及当单台电容器内部 50%~70% 串联元件击穿时, 或因故障切除同一并联段中的 K 台电容器时, 使保护装置有一定的灵敏系数, 即 <math>K_m \geq 1.5</math>)</p> $U_{dzj} \geq K_k U_{bp}$ $U_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_y} \frac{3\beta_c U_{\eta h}}{3n[m(1-\beta_c) + \beta_c] - 2\beta_c}$ <p>(每台电容器未装设专用熔断器)</p> $U_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_y} \frac{3KU_{\eta h}}{3n(m-K) + 2K}$ $K \geq \frac{3.3nm}{6.3n-2.2}$ <p>(每台电容器装设专用熔断器)</p> <p>保护动作时限 0.1~0.2s</p>	
中性线不平衡电压保护 (双星形接线)	<p>保护装置的动作电压 (应躲过正常时, 中性线上电压互感器二次回路中的最大不平衡电压, 及当单台电容器内部 50%~70% 串联元件击穿时, 或因故障切除同一并联段中的 K 台电容器时, 使保护装置有一定的灵敏系数, 即 <math>K_m \geq 1.5</math>)</p> $U_{dzj} \geq K_k U_{bp}$ $U_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_y} \frac{\beta_c U_{\eta h}}{3n[m(1-\beta_c) + \beta_c] - 2\beta_c}$ <p>(每台电容器未装设专用熔断器)</p> $U_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_y} \frac{KU_{\eta h}}{3n(m-K) + 2K}$ $K \geq \frac{3.3nm}{6.3n-2.2}$ <p>(每台电容器装设专用熔断器)</p> <p>保护动作时限 0.1~0.2s</p>	
中性线不平衡电流保护 (双星形接线)	<p>保护装置的动作电流 (应躲过正常时, 中性线上电流互感器二次回路中的最大不平衡电流, 及当单台电容器内部 50%~70% 串联元件击穿时, 或因故障切除同一并联段中的 K 台电容器时使保护装置有一定的灵敏系数即 <math>K_m \geq 1.5</math>)</p> $I_{dzj} \geq K_k I_{bp}$ $I_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_l} \frac{3m\beta_c I_{rc}}{6n[m(1-\beta_c) + \beta_c] - 5\beta_c}$ <p>(每台电容器未装设专用熔断器)</p> $I_{dzj} \leq \frac{1}{K_m n_l} \frac{3mK I_{rc}}{6n(m-K) + 5K}$ $K \geq \frac{6.6nm}{12.6n-5.5}$ <p>(每台电容器装设专用熔断器)</p> <p>保护动作时限 0.1~0.2s</p>	

## 6.4 电容器保护测控装置

### (1) 电容器保护功能

1) 三段定时限过电流保护(其中第三段可整定为反时限段)或二段定时限过电流保护。

2) 过电压保护。

3) 低电压保护。

4) 不平衡电压(零序电压)保护。

5) 不平衡电流(零序电流)保护。

6) 桥差电流保护。

7) 差电压保护。

8) 零序过电流保护/小电流接地选线。

9) 非电量保护(瓦斯温度)。

10) 自动投切功能。

11) 独立的操作回路及故障录波。

### (2) 装置闭锁和装置告警

1) 当装置检测到本身硬件故障时,发出故障闭锁信号,同时闭锁整套保护。硬件故障包括 RAM 出错、EPROM 出错、定值出错、电源故障。

2) 当装置检测到下列状况时,发出运行异常信号:

① 过电压报警。

② 电压互感器断线。

③ 频率异常。

④ 电流互感器断线。

⑤ 跳闸位置继电器异常。

⑥ 控制回路断线。

⑦ 弹簧未储能。

⑧ 零序电流报警。

⑨ 接地报警。

⑩ 超温报警。

⑪ 轻瓦斯报警。

### (3) 电容器测控功能

1) 遥控功能:正常遥控跳闸操作,正常遥控合闸操作,接地选线遥控跳闸。

2) 遥测功能:电流,无功功率、功率因数和无功电度,所有这些量都在当地实时计算,实时累加,计算不依赖于网络。

3) 遥信功能:遥信开入采集,装置变位遥信及事故遥信,并做事件顺序记录。

### (4) 电容器各保护环节逻辑框图

各保护环节逻辑框图,如图 4.4-30~图 4.4-36 所示。

典型一电容器保护装置逻辑框图,如图 4.4-37~图 4.4-40 所示。

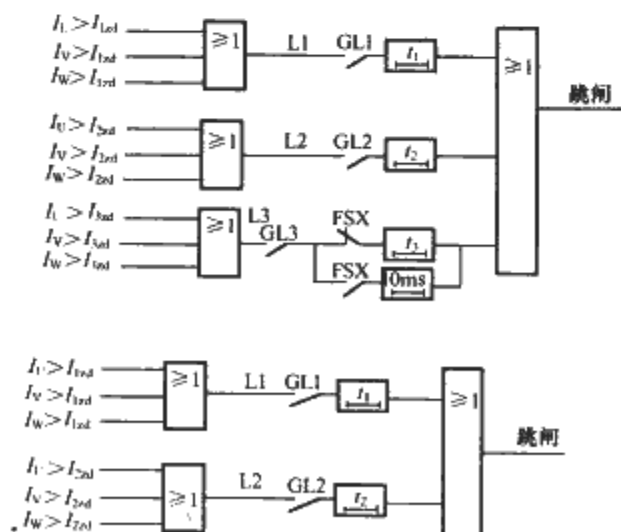


图 4.4-30 电容器过电流保护逻辑框图

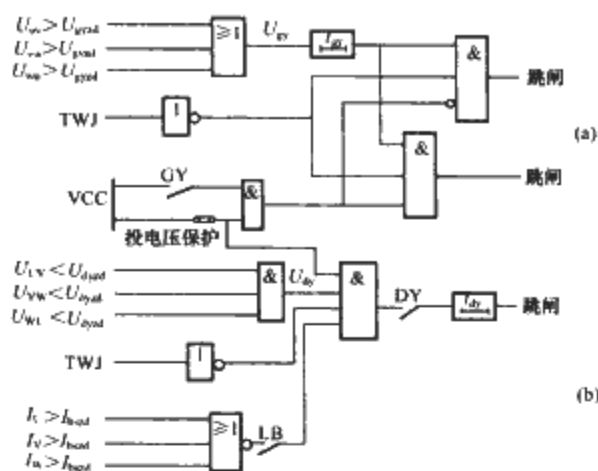


图 4.4-31 电压保护逻辑框图

(a) 过电压保护; (b) 低电压保护

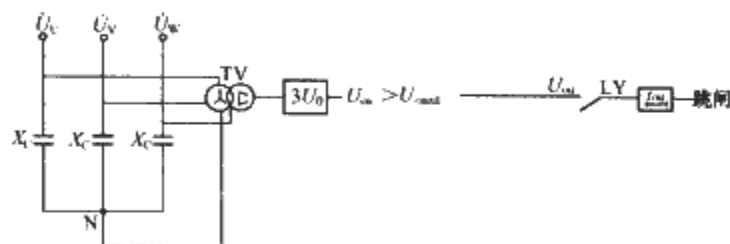


图 4.4-32 开口三角电压保护逻辑框图

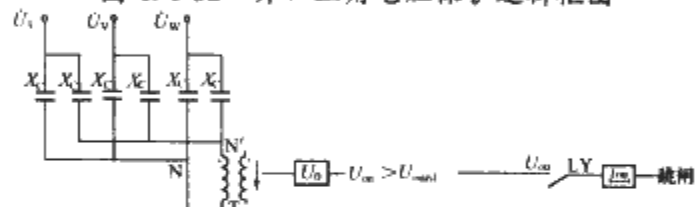


图 4.4-33 双 Y 联结电容器的

不平衡电压保护逻辑框图

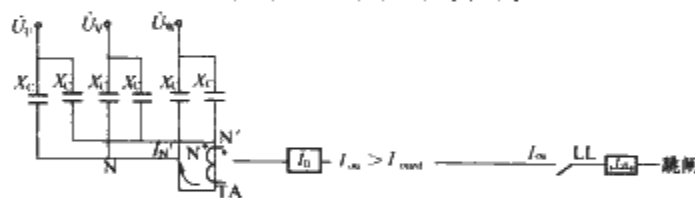


图 4.4-34 双 Y 联结电容器的

不平衡电流保护逻辑框图

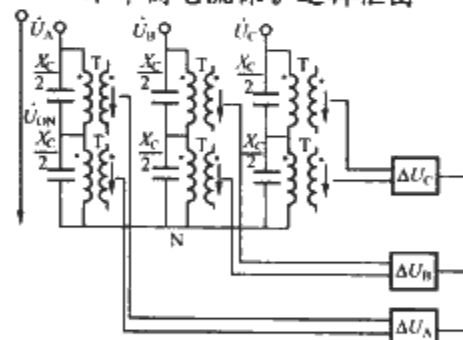


图 4.4-35 电压差动保护逻辑框图

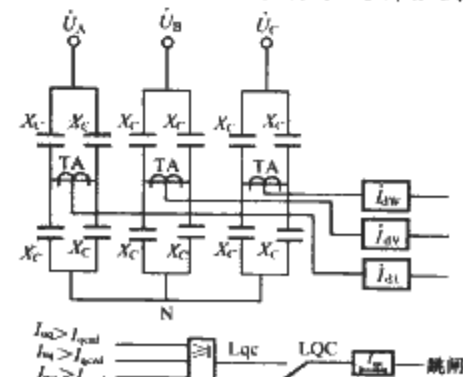


图 4.4-36 桥式差电流保护逻辑框图

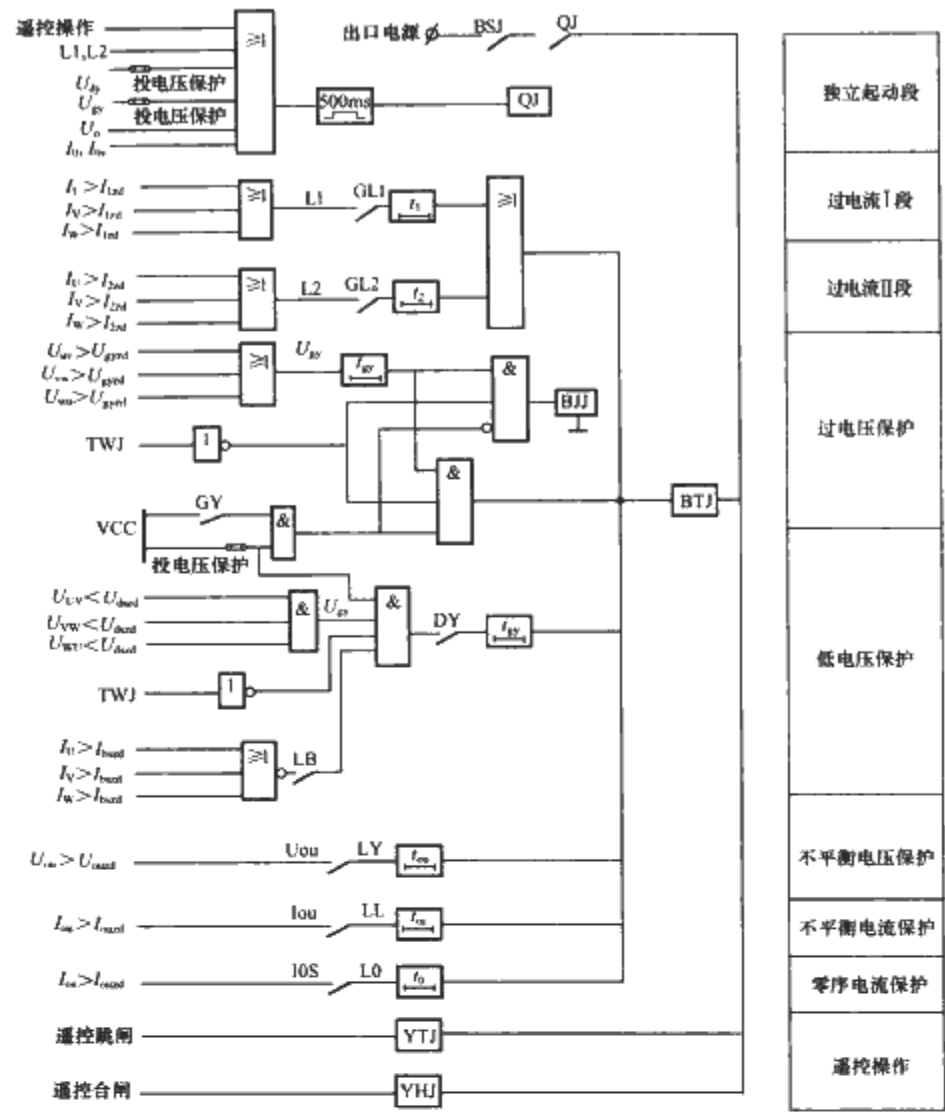


图 4.4-37 典型一 电容器保护装置逻辑框图

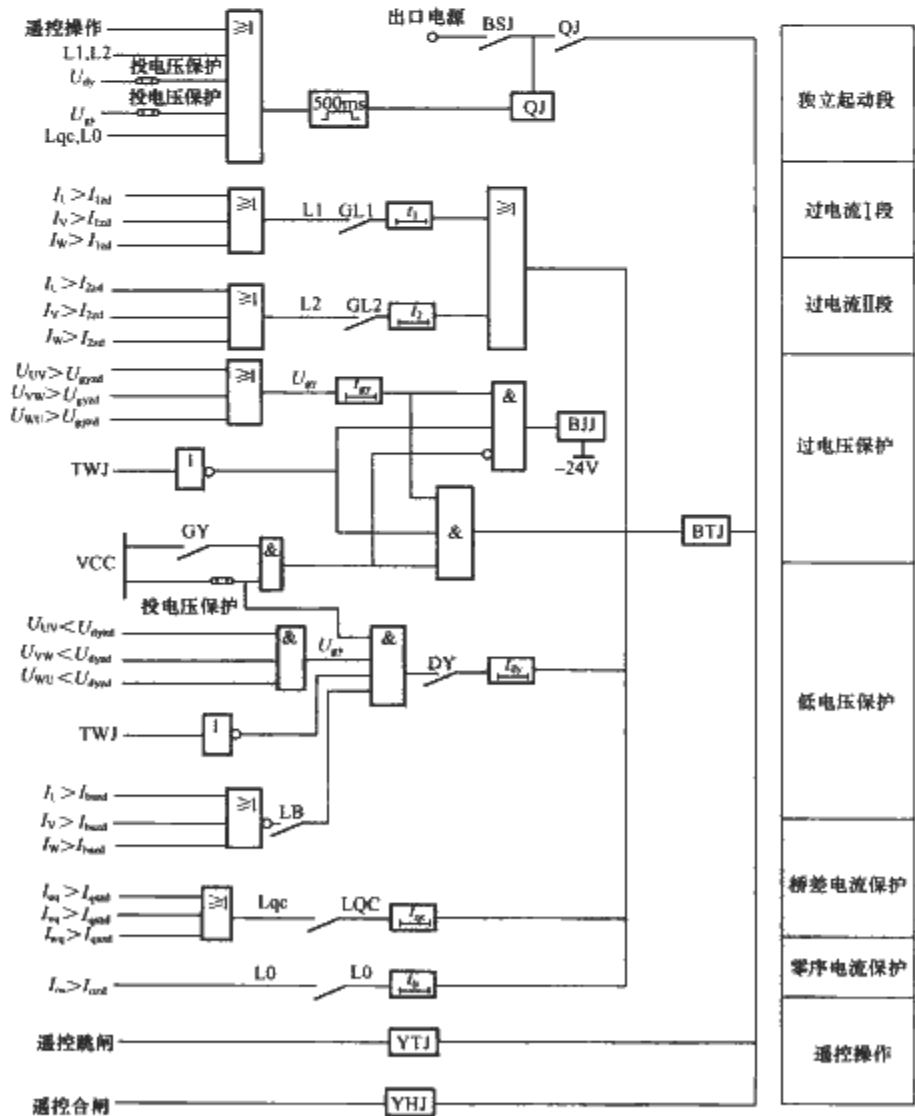


图 4.4-38 典型二 电容器保护装置逻辑框图



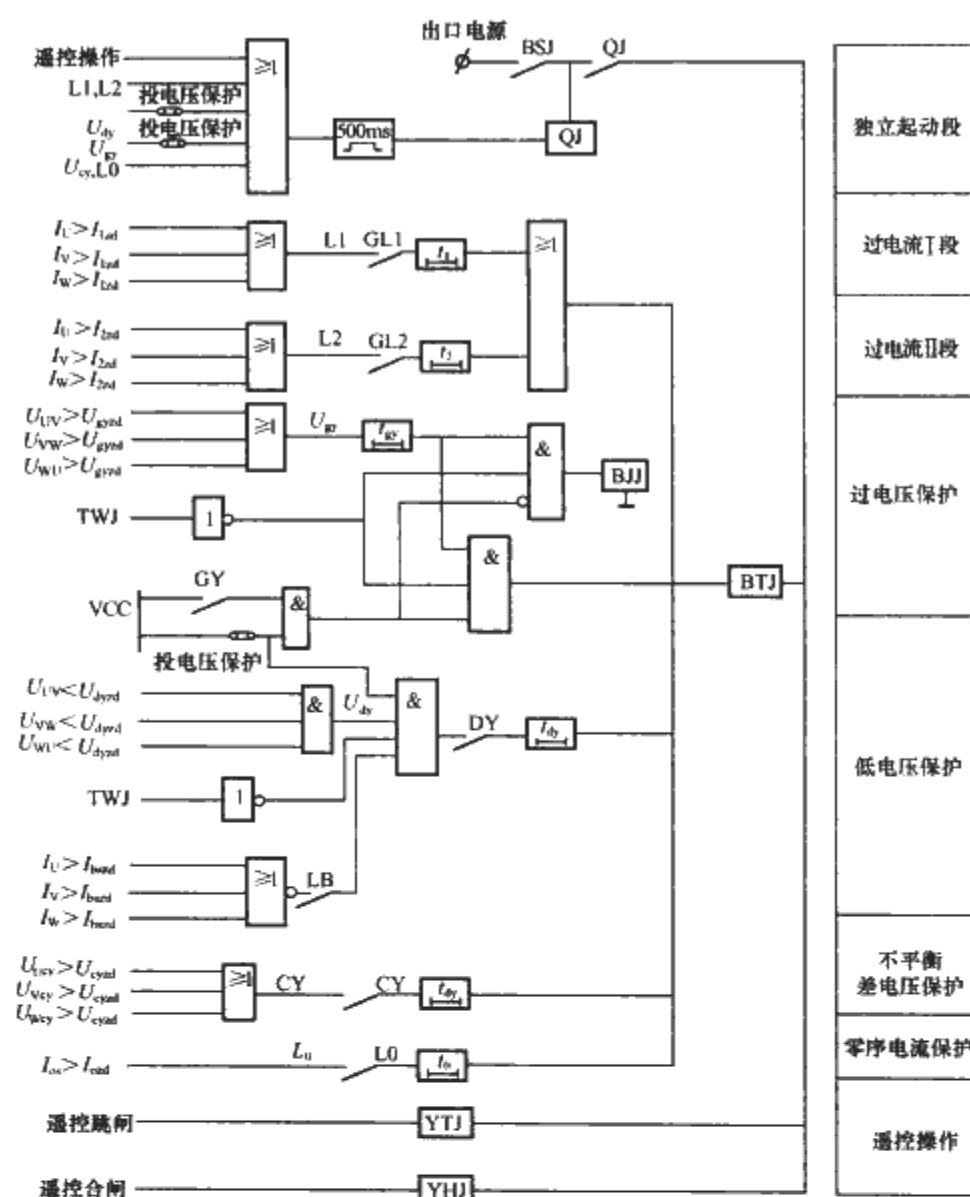


图 4.4-39 典型三 电容器保护装置逻辑框图

## 7 3~10 kV 电动机的保护

### 7.1 设计规范对保护装置的配置要求

1) 对电压为 3kV 及以上的异步电动机和同步电动机的下列故障及异常运行方式，应装设以下相应的保护装置：

- ① 定子绕组相间短路。
- ② 定子绕组单相接地。
- ③ 定子绕组过负荷。
- ④ 定子绕组低电压。
- ⑤ 同步电动机失步。
- ⑥ 同步电动机失磁。
- ⑦ 同步电动机出现非同步冲击电流。

2) 对电动机绕组及引出线的相间短路，装设相应的保护装置，应符合下列规定：

- ① 2MW 以下的电动机，宜采用电流速断保护，保护装置宜采用两相式。
- ② 2MW 及以上的电动机，或电流速断保护灵敏系数不符合要求的 2MW 以下电动机，应装设纵联差动保护。
- ③ 保护装置应动作于跳闸。对于具有自动灭磁装置的同步电动机，保护装置尚应动作于灭磁。

3) 对单相接地故障，当接地电流大于 5A 时，应装设有选择性的单相接地保护；当接地电流小于 5A 时可装设接地检测装置。

单相接地电流为 10A 及以上时保护装置动作于跳闸；

单相接地电流为 10A 以下时，保护装置可动作于跳闸或信号。

4) 对电动机的过负荷应装设过负荷保护，并应符合下列规定：

① 生产过程中易发生过负荷的电动机应装设过负荷保护。保护装置应根据负载特性，带时限作用于信号或跳闸。

② 起动或自起动困难、需要防止起动或自起动时间过长的电动机，应装设过负荷保护，保护装置应动作于跳闸。

5) 对母线电压短时降低或中断，应装设电动机低电压保护，并应符合下列规定：

① 当电源电压短时降低或短时中断后又恢复时，需要断开的次要电动机和有备用自动投入机械的电动机，应装设低电压保护。

② 根据生产过程不允许或不需要自起动的电动机，应装设低电压保护。

③ 在电源电压长时间消失后须从电力网中自动断开的电动机，应装设低电压保护。

④ 保护装置应动作于跳闸。

6) 对同步电动机失步，应装设失步保护。失步保护带时限动作，对于重要电动机，动作于再同步控制回路；不能再同步或根据生产过程不需要再同步的电动机，应动作于跳闸。

7) 对同步电动机失磁可引起母线电压严重降低，宜装设专用失磁保护。失磁保护应带时限动作于跳闸。

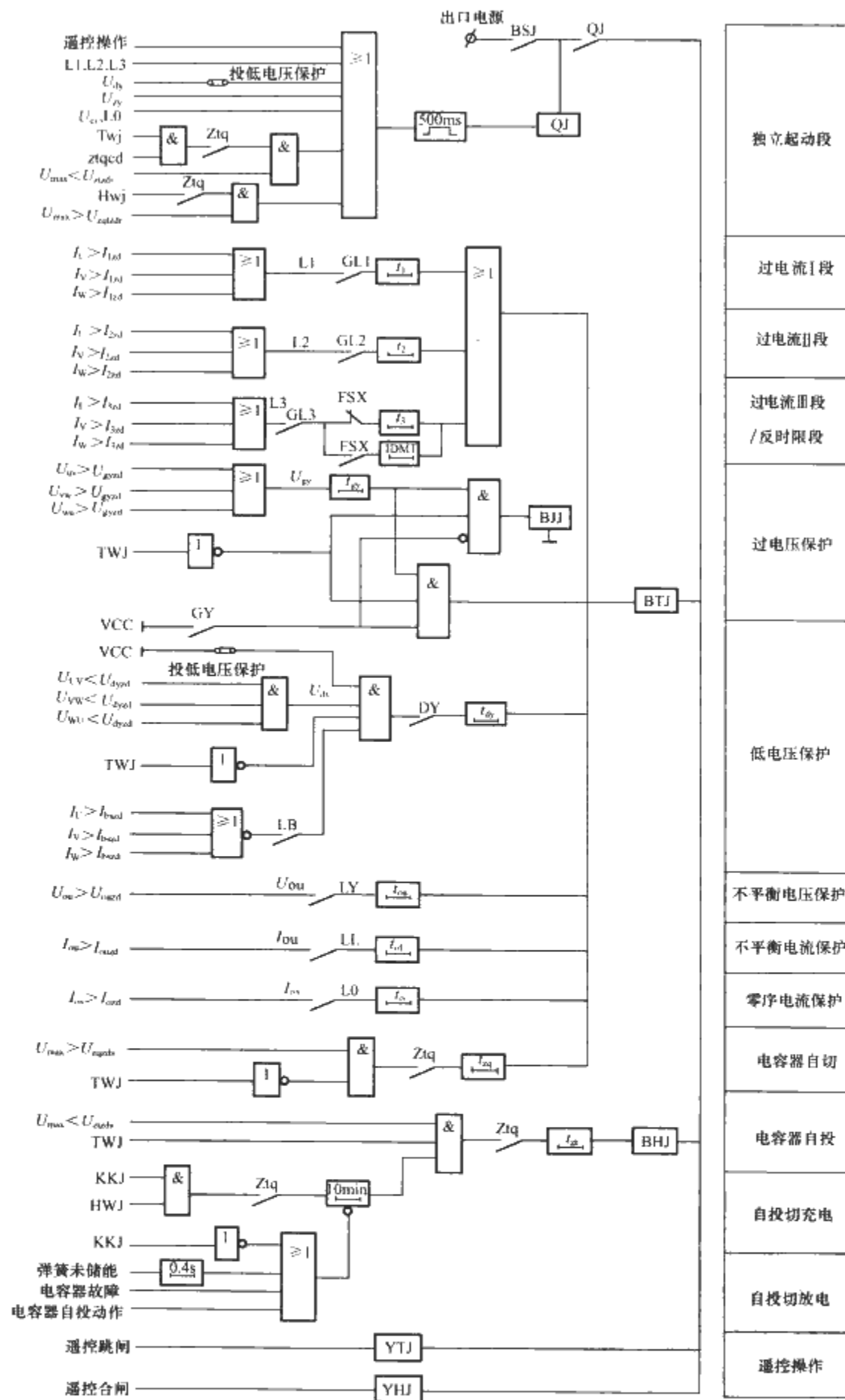


图 4.4-40 典型四 电容器保护装置逻辑框图

8) 2MW 及以上以及不允许非同步冲击的同步电动机，应装设防止电源短时中断再恢复时造成非同步冲击的保护。保护装置应确保在电源恢复前动作。重要电动机的保护装置，应作用于再同步控制回路；不能再同步或根据生产过程不需要再同步的电动机，保护装置应动作于跳闸。

## 7.2 保护配置

3~10kV 电动机的继电保护配置，见表 4.4-11。

## 7.3 整定计算

3~10kV 电动机的继电保护整定计算，见表 4.4-12。

表 4.4-11 3~10kV 电动机的继电保护配置

电动机容量 (kW)	保护装置名称						
	电流速 断保护	纵联差动保护	过负荷保护	单相接地保护	低电压 保护	失步 保护①	防止非同步冲击 的断电失步 保护②
异步电动机 <2000	装设	当电流速断保护不能满足 灵敏性要求时装设	生产过程中 易发生过负荷 时或启动、自 启动条件严重 时应装设	单相接地电 流 > 5A 时装 设, ≥ 10A 时 一般动作于跳 闸, 5~10A 时 可动作于跳闸 或信号	根据需要 装设		
异步电动机 ≥2000		装设					
同步电动机 <2000	装设	当电流速断保护不能满足 灵敏性要求时装设				装设	根据需要 装设
同步电动机 ≥2000		装设					

① 同步电动机可以利用反应定子回路的过负荷保护兼作失步保护, 负荷变动大的同步电动机, 但此时应增设失磁保护。

② 大容量同步电动机当不允许非同步冲击时, 宜装设防止电源短时中断再恢复时, 造成非同步冲击的保护。

表 4.4-12 3~10kV 电动机的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符 号 说 明
电流速断保护	保护装置的動作電流: 异步电动机 (应躲过电动机的启动电流) $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{K_q I_{rM}}{n_1}$ 同步电动机 (应躲过电动机的启动电流或外部短路 时电动机的输出电流) $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{K_q I_{rM}}{n_1}$ $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I''_{k3M}}{n_1}$ 保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下, 电动机 接线端两相短路时, 流过保护安装的短路电流校验) $K_m = \frac{I''_{k2 \cdot \min}}{I_{dz}} \geq 1.5$	$K_k$ —可靠系数, 对微机保护用于电流速断、过电流保护 时, 取 1.1, 用于过负荷保护时动作于信号取 1.05, 动作于跳闸取 1.1 $K_{jx}$ —接线系统, 接于相电流时取 1.0, 接于相电流差时 取 $\sqrt{3}$ $n_1$ —电流互感器变比 $I_{rM}$ —电动机额定电流, A $K_q$ —电动机启动电流倍数① $I''_{k3M}$ —同步电动机接线端三相短路时, 输出的超瞬态电 流②, A $I''_{k2 \cdot \min}$ —最小运行方式下, 电动机接线端两相短路时, 流过 保护安装处的超瞬态电流③, A $I_{dz}$ —保护装置一次动作电流, A $I_{dz} = \frac{I_{dzj} n_1}{K_{jx}}$ $K_k$ —继电器返回系数, 对微机保护取 0.9 $t_{qd}$ —电动机实际启动时间, s $t_{dz}$ —保护装置动作时限, 一般为 10~15s, 应在实际起 动时校验其能否躲过启动时间 $I_{cM}$ —电动机的电容电流, A, 除大型同步电动机外, 可 忽略不计。大型同步电动机的电容电流计算见 4.7.7 节 $I_{c\Sigma}$ —电网的总单相接地电容电流, A
过负荷保护	保护装置的動作電流 (应躲过电动机的额定电流) $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{rM}}{K_h n_1}$ 保护装置的動作時限 (躲过电动机启动及自启动时 间, 即 $t_{dz} \geq t_{qd}$ ) 对于一般电动机为 $t_{dz} = (1.1 \sim 1.2) t_{qd}$ 对于传动风机负荷的电动机为 $t_{dz} = (1.2 \sim 1.4) t_{qd}$	
单相接地保护	保护装置的一次動作電流 (应按被保护元件发生单 相接地故障时最小灵敏系统 1.3 整定) $I_{dz} \leq \frac{I_{c\Sigma} - I_{cM}}{1.3}$	
失步保护	过负荷保护兼作失步保护, 保护装置的動作電流和 動作時限与过负荷相同	
低电压保护	保护装置的电压整定值一般为电动机额定电压的 60%~70%, 時限一般为 0.3~0.5s	

① 如为降压电抗器启动及变压器—电动机组, 其启动电流倍数  $K_q$  改用  $K'_q$  代替

$$K'_q = \frac{1}{\frac{1}{K_q} + \frac{u_k S_{rM}}{S_{rT}}}$$

式中,  $u_k$  为电抗器或变压器的阻抗电压相对值;  $S_{rM}$  为电动机额定容量, kVA;  $S_{rT}$  为电抗器或变压器额定容量, kVA。

② 同步电动机接线端三相短路时, 输出的超瞬态电流为

$$I''_{k3M} = \left( \frac{1.05}{x'_k} + 0.95 \sin \varphi_r \right) I_{rM} \quad (\text{A})$$

式中,  $x'_k$  为同步电动机超瞬态电抗, 相对值;  $\varphi_r$  为同步电动机额定功率因数角;  $I_{rM}$  为同步电动机额定电流, A。

③ 两相短路超瞬态电流  $I''_{k2}$  等于三相短路超瞬态电流  $I''_{k3}$  的 0.866 倍。

7.4 电动机差动保护及其他保护整定计算

(1) 电动机差动保护特性

比率差动保护能保证外部短路不动作, 内部故障时有较高灵敏度, 动作曲线如图 4.4-41 所示。图 4.4-41 中  $I_d$  为动作电流,  $I_r$  为制动电流,  $K_{bl}$  为比率制动系数,  $I_{cdqd}$  为差动

电流起动定值。

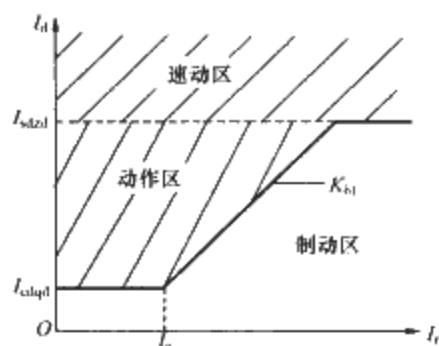


图 4.4-41 电动机纵差保护动作曲线

## (2) 电动机数字差动保护整定计算

1) 比率制动差动保护的最小动作电流，应躲过电动机正常运行时差动回路的不平衡电流，即

$$I_{cdqd} = I_{dmin} = (0.2 \sim 0.4) I_c \quad (4.4-14)$$

式中， $I_c$  为电动机额定电流，A。

2) 制动系数。

$$K_{bl} = \frac{I_d}{I_r} \quad (\text{一般 } K_{bl} = 0.3 \sim 0.4) \quad (4.4-15)$$

式中， $I_d$  为差动电流，A； $I_r$  为制动电流，A。

3) 差动速断动作电流。差动速断动作电流一般取 3~8 倍额定电流的较低值。

4) 灵敏系数

$$K_m = \frac{I_{K2 \cdot min}}{n_1 I_{dzj}} \geq 1.5 \quad (4.4-16)$$

式中， $I_{K2 \cdot min}$  为最小运行方式下电动机端保护区内两相短路电流，A； $n_1$  为电流互感器变比； $I_{dzj}$  为差动继电器动作电流，A，根据制动电流的大小在相应制动特性曲线上求得相应的动作电流。

5) 磁平衡差动保护。磁平衡差动保护，俗称“小差动保护”。当电动机安装磁平衡式电流互感器时，差动速断保护、比率差动保护、TA 断线判别功能退出。

磁平衡差动保护的电流从装置中性点侧电流回路输入，过电流定值取自  $I_{cdqd}$ 。

若未装设磁平衡式电流互感器，但装置所引入的电流已经是差动电流，其接线和整定原则同磁平衡差动保护。

磁平衡差动接线图，如图 4.4-42 所示。

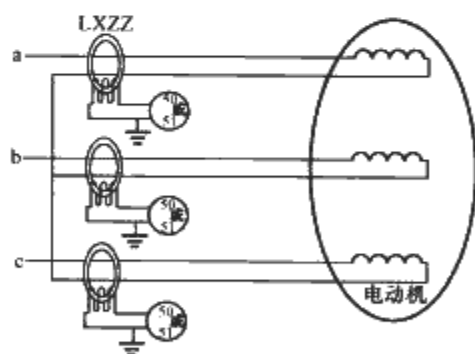


图 4.4-42 磁平衡差动接线

对于电动机数字保护还应考虑电动机过热保护。

## (3) 电动机过热保护

$$t = \frac{\tau}{\left(\frac{I_{eq}}{I_r}\right)^2 - 1.05^2} \quad (4.4-17)$$

式中， $\tau$  为发热时间常数； $I_{eq}$  为等效运行电流，A； $I_r$  为电动机额定电流，A。

保护装置采用在一定的  $\frac{I_{eq}}{I_r}$ （等效运行电流与额定电流之比）过负荷条件下，允许过负荷的时间有多长来进行过负荷整定。保护装置自动计算发热时间常数  $\tau$ ，并确定一条反时限特性曲线（一般为 IFC 极端反时限特性曲线）。

整定计算方法如下：

1) 若电动机厂家提供电动机在  $n$  倍额定负荷电流下，允许运行  $t_s$ ，或堵转电流为  $n$  倍额定电流时，允许堵转时间为  $t_s$ ，则直接整定过负荷系数  $k_{gh} = n$ ；过负荷时间  $t_s$ 。

2) 按躲过起动电流整定，如 1.2 倍额定电流值，120s，直接起动结束时不发生过热报警信号（75%过负荷跳闸值）为止。

3) 若电动机在冷态时可连续起动 3 次，起动电流为  $n$  倍额定电流，起动时间为  $t_s$ ，则发热时间常数

$$\tau = 3(n^2 - 1.05^2)t \quad (4.4-18)$$

可整定过负荷系数

$$k_{gh} = n, \quad t = \frac{\tau}{3(n^2 - 1.05^2)} \quad (4.4-19)$$

## (4) 电动机负序电流保护（不平衡、断相、反相）

$$I_{dz2} = k I_r \quad (4.4-20)$$

式中， $k$  为负序电流保护系数， $k = 0.2 \sim 1$ ； $I_r$  为电动机额定电流，A。

当只需要提供断相或反相保护时， $k = 0.8 \sim 1$ 。

当需要提供灵敏的不平衡保护时， $k = 0.2 \sim 0.8$ 。

具有外部短路闭锁的负序电流保护，动作时限  $t \geq 0.1s$ ，一般取  $t = 0.4s$ 。

## (5) 起动时间过长保护

电动机在冷态情况下正常起动到起动完成时间，以保护监控装置实测时间，作为起动时间过长保护判据。

## (6) 堵转保护

由保护装置自动完成，其他保护整定计算与常规保护整定计算相同。

## 7.5 同步电动机失步保护

### (1) 同步电动机带励失步、失励失步保护

当同步电动机带励失步或失励失步时，其显著特征是在励磁回路中出现不衰减的交流分量，其频率与电机的滑差频率相一致，对此失步保护装置应正确动作。而在同步电动机运行中，由于系统中出现各种扰动引起同步振荡，虽在励磁回路内出现不同特征的交流感应电流，但同步电动机未失步，失步保护不应动作。保护装置应能正确检测和区分各种分量的波形特征，并准确可靠地判断电动机是否失步。

另外对于无刷励磁同步电动机，其转子中的交流分量不好引出。

在数字型同步电动机的失步保护装置应用检测同步电动机的功率因数角的原理来构成，同步电动机正常运行时一般工作于过激状态，功率因数角为负，当同步电动机失步时必定为欠激，功率因数角为正。失步保护固定经低电流闭锁（用于防止电动机空载时保护误动作，闭锁电流可整定）。同步电动机的相量关系如图 4.4-51 及图 4.4-52 所示。

功率因数角整定范围为  $0^\circ \sim 60^\circ$ ，一般整定为  $30^\circ$ ，闭锁电流按同步电动机功率（凸极）对应的电流整定。

### (2) 同步电动机断电失步保护

当电动机不允许非同步冲击时宜装设防止电源短时中断恢复时造成非同步冲击的断电失步保护装置(每段母线一套)。保护装置可反应功率方向,频率降低。保护装置应确保在电源恢复前动作,重要同步电动机的保护装置作用于再同步控制回路,不能再同步或根据生产过程不需要再同步的电动机,保护装置应动作于跳闸。

有的保护装置有低功率或逆功率保护,低功率保护适用于母线上没有其他负荷的情况,而逆功率保护适用于有其他负荷的情况均作用于跳闸或再同步,而低功率和逆功率保护不能同时投入,同时投入则为低功率保护。保护在电动机电流大于0.5A或电压大于5V方可能动作。

1) 低功率保护可按躲过空载运行时有功功率整定。

2) 逆功率保护按系统失电时电动机输出的最小功率整定。

3) 低频保护一般装置配有低电压闭锁(低电压闭锁定值固定为UV相电压30V)功能的低频减载保护。当装置投入工作时频率必须在 $50 \pm 0.5\text{Hz}$ 范围内,低频保护才允许投入。

## 7.6 低电压保护

下列电动机应装设低电压保护,保护装置应动作于跳闸:

1) 当电源电压短时降低或短时中断后又恢复时,为了保证重要电动机自启动而需要断开的次要电动机,保护装置的电压整定值一般为电动机额定电压的60%~70%,时限一般约为0.5s。

2) 当电源电压短时降低或短时中断后,根据生产过程不允许或不需要自启动的电动机。保护装置的电压整定值一般为电动机额定电压的40%~50%或略高;时限一般较上一级主保护大一时限阶段,取0.5~1.5s,必要时保护可无选择地动作。

3) 需要自启动,但为保证人身和设备安全,在电源电压长时间消失后需从配电网中自动断开的电动机。保护装置的电压整定值一般为电动机额定电压的40%~50%,时限一般为5~10s。

低电压保护的接线应尽可能满足以下要求:

1) 当电压互感器一次侧及二次侧发生各种断线故障时,保护装置不应动作。

2) 当电压互感器一次侧隔离开关因误操作被断开时,保护装置不应动作。

3) 0.5s和9~10s低电压保护的电压和时限应分别整定。

## 7.7 同步电动机的单相接地电容电流

(1) 隐极式同步电动机的电容电流

$$I_{CM} = \frac{2.5KS_M\omega U_{rM} \times 10^{-3}}{\sqrt{3}U_{rM}(1+0.08U_{rM})} \quad (4.4-21)$$

式中, $S_{rM}$ 为电动机的额定容量,MVA; $U_{rM}$ 为电动机的额定电压,kV; $\omega$ 为电动机的角速度, $\omega=2\pi f$ ,当 $f=50\text{Hz}$ 时, $\omega=314$ ;K为决定于绝缘等级的系数,当温度为15~20℃时, $K=0.0187$ 。

(2) 凸极式同步电动机的电容电流

$$I_{CM} = \frac{\omega KS_M^{3/4} U_{rM} \times 10^{-6}}{\sqrt{3}(U_{rM} + 3600)n^{1/3}} \quad (4.4-22)$$

式中: $S_{rM}$ 为电动机的额定容量,kVA; $U_{rM}$ 为电动机的额定电压,V; $\omega$ 为电动机的角速度, $\omega=2\pi f$ ,当 $f=50\text{Hz}$ 时, $\omega=314$ ;n为电动机的转速,r/min;K为决定于绝缘等级的系数,对于B级绝缘,当温度为25℃时, $K \approx 40$ 。

## 7.8 电动机保护测控装置

(1) 电动机保护功能

1) 差动速断保护。

2) 比率差动保护。

3) 过电流保护(二段定时限过电流保护即作为短路保护,启动时间过长保护及堵转保护)。

4) 定时限负序过电流保护(二段定时限负序过电流保护,一段负序过负荷报警即作为包括断相和反相的不平衡保护,其中负序过电流Ⅱ段和负序过负荷报警可选择使用反时限特性)。

5) 过负荷保护。

6) 过热保护(分为过热报警与过热跳闸,具有热记忆及禁止再启动功能,实时显示电动机热积累情况)。

7) 接地保护(零序过电流保护/小电流接地选线,零序过电压保护)。

8) 低电压保护。

9) 过电压保护。

10) 非电量保护。

11) 独立的操作回路故障录波。

(2) 装置闭锁和装置告警

1) 当装置检测到本身硬件故障时,发出装置报警信号,同时闭锁整套保护。硬件故障包括RAM出错、EPROM出错、定值出错、电源故障。

2) 当装置测出如下问题时发出运行异常报警信号。

①跳闸位置继电器异常。

②电压互感器断线。

③电流互感器断线。

④控制回路断线。

⑤频率异常。

⑥负序过负荷报警。

⑦过负荷报警。

⑧过热报警。

⑨零序过电流报警。

⑩接地报警(零序过电压报警)。

⑪非电量报警。

(3) 电动机测控功能

1) 遥控功能、正常遥控跳闸操作,正常遥控合闸操作,接地选线遥控跳闸操作。

2) 遥测功能、电流、功率因数、有功无功功率和有功无功电度遥测。所有这些量都在当地实时计算,实时累加,计算完全不依赖于网络。

3) 遥信功能、遥信开入,装置变位遥信及事故遥信,并做事件顺序记录。

(4) 电动机各保护环节逻辑框图

各保护环节逻辑框图,如图4.4-43~图4.4-54所示。

典型一电动机保护装置逻辑框图,如图4.4-55所示。

典型二电动机保护装置逻辑框图,如图4.4-56所示。

典型三电动机保护装置逻辑框图,如图4.4-57所示。

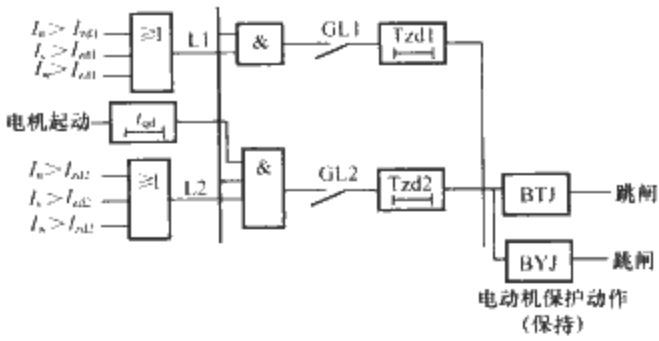


图 4.4-43 过电流保护逻辑框图

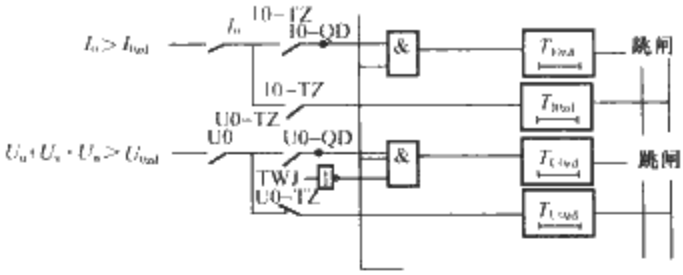


图 4.4-50 零序电流电压保护逻辑框图

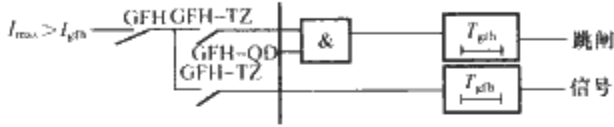


图 4.4-44 电动机过负荷保护逻辑框图

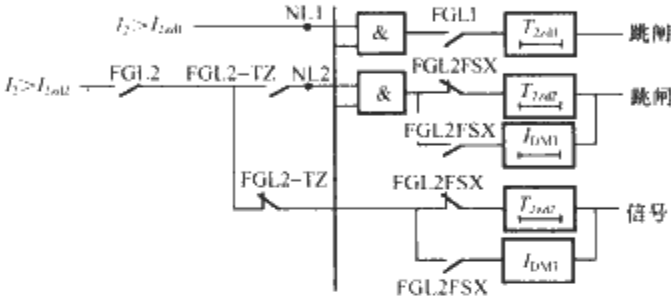


图 4.4-45 电动机负序电流保护逻辑框图

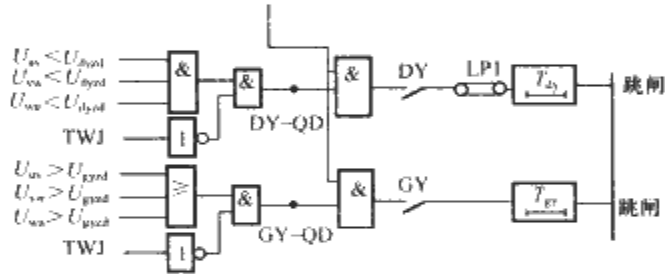


图 4.4-46 低电压保护、过电压保护逻辑框图

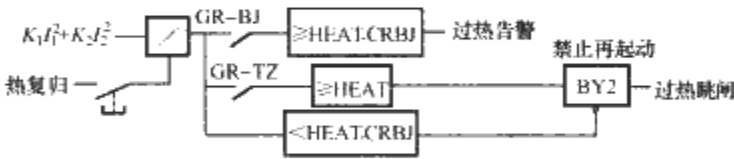


图 4.4-47 电动机过热保护逻辑框图

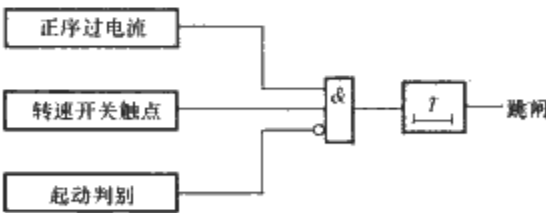


图 4.4-48 电动机堵转保护逻辑框图

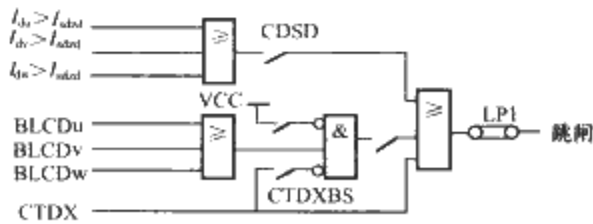


图 4.4-49 差动速断保护、比率差动保护逻辑框图

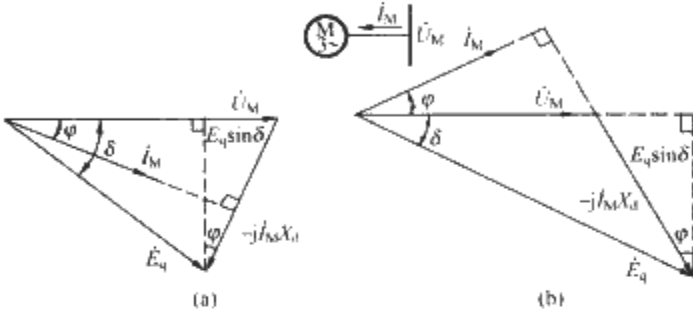


图 4.4-51 隐极式同步电动机的相量关系  
(a) 欠励（吸取感性无功）；(b) 过励（发出感性无功）

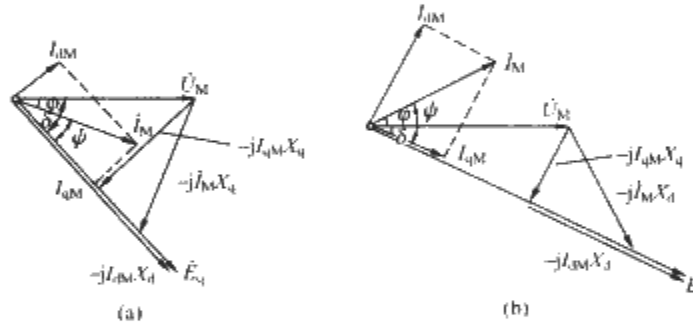


图 4.4-52 凸极式同步电动机的相量关系  
(a) 欠励（吸取感性无功）；(b) 过励（发出感性无功）

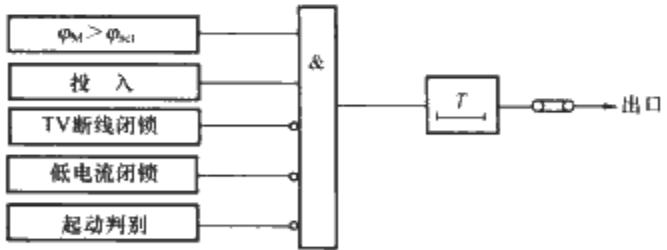


图 4.4-53 同步电动机失步保护逻辑图

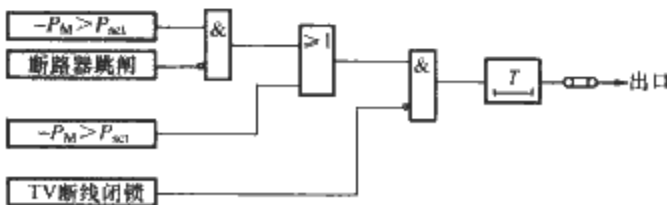


图 4.4-54 同步电动机的非同步冲击保护逻辑框图



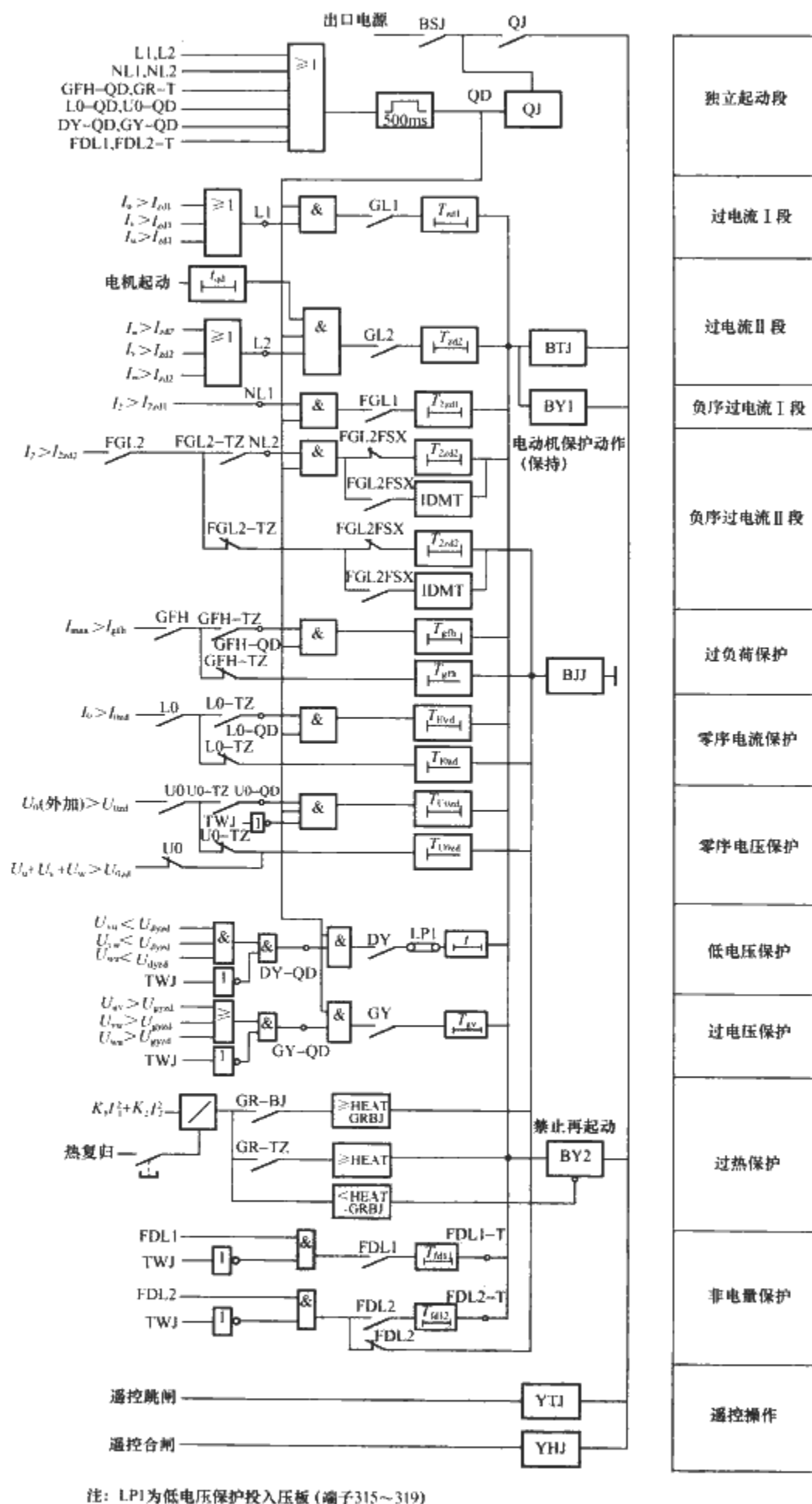


图 4.4-55 典型一 电动机保护装置逻辑框图

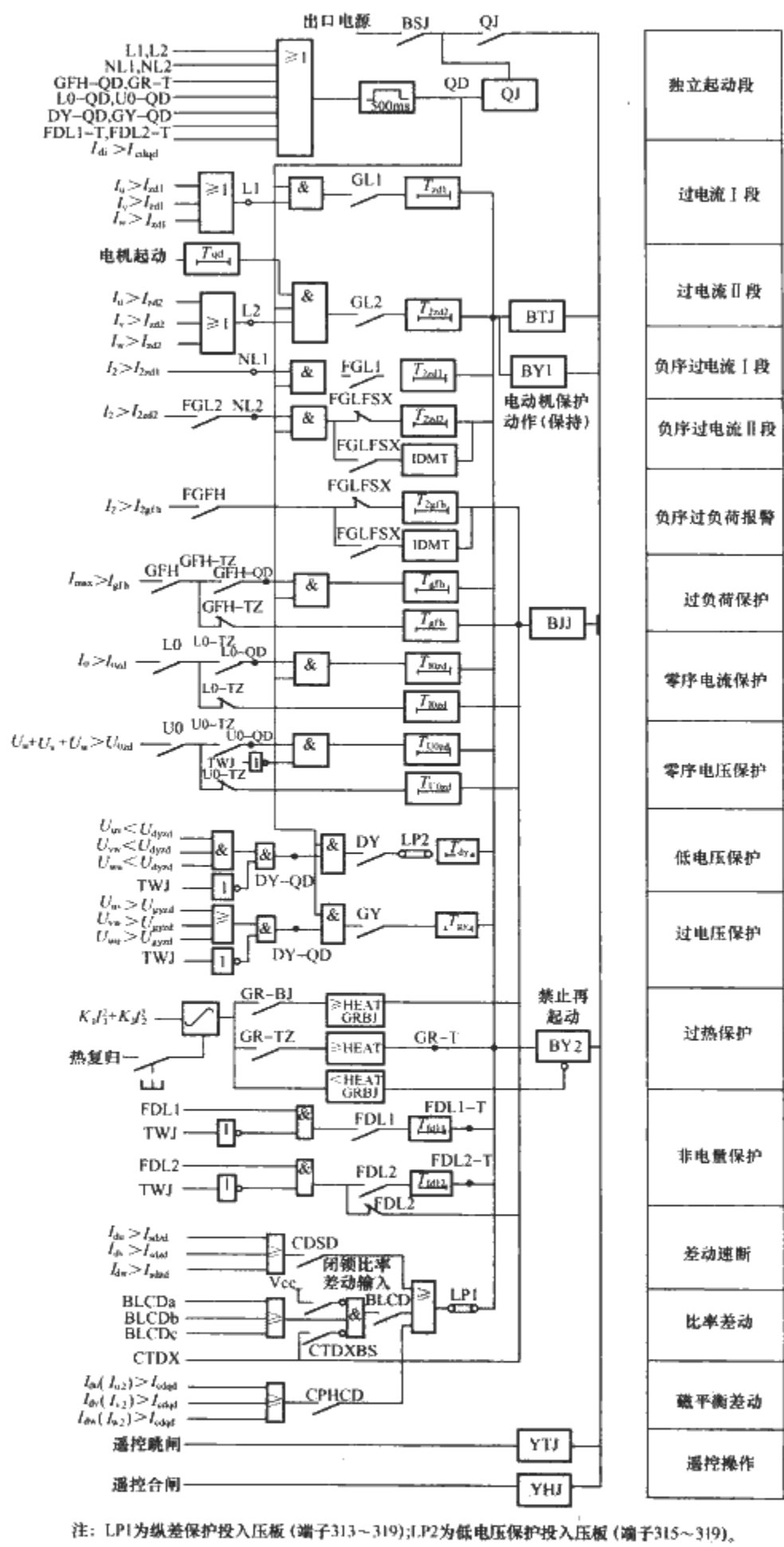


图 4.4-56 典型二 电动机保护装置逻辑框图

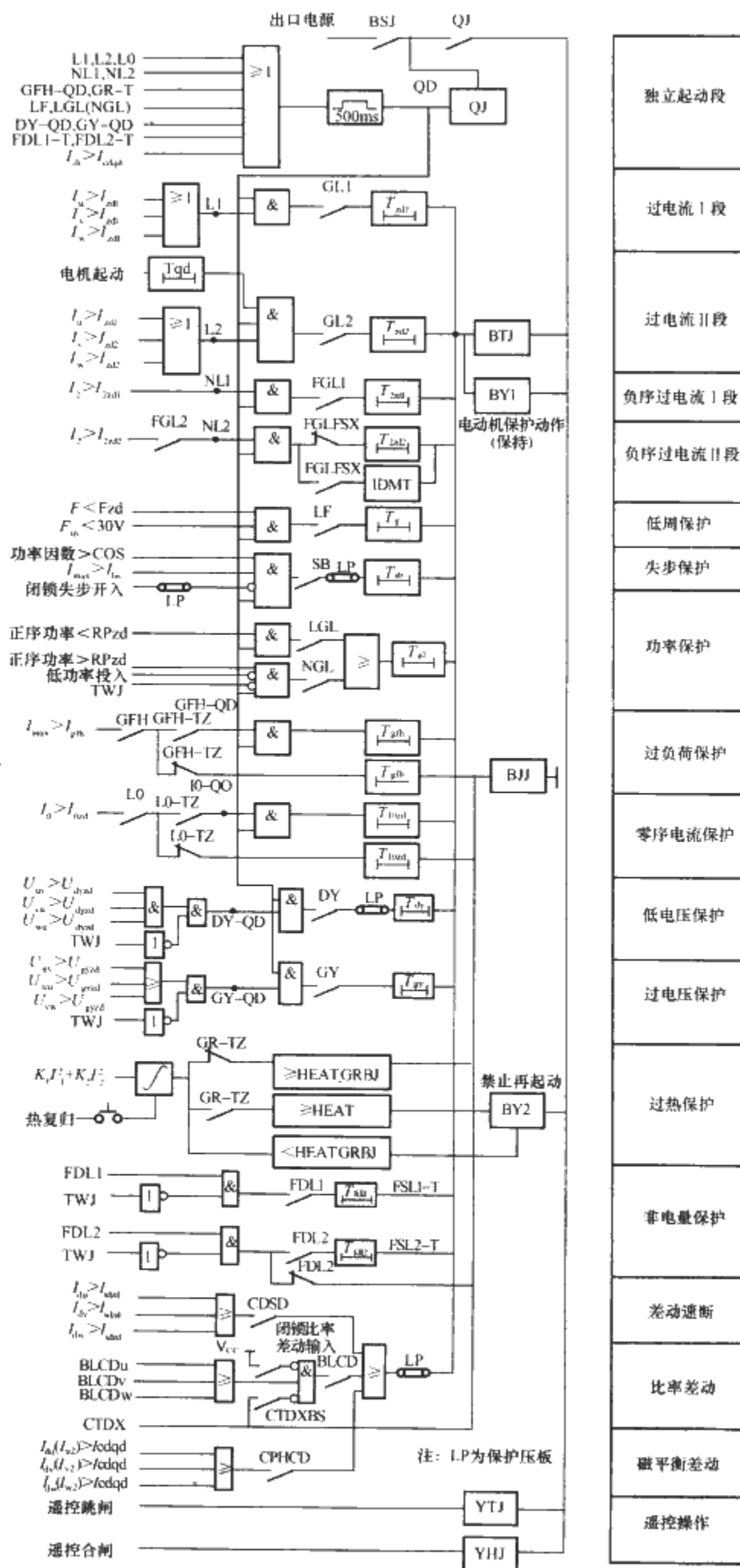


图 4.4-57 典型三 电动机保护装置逻辑框图

## 8 微机保护装置的电磁兼容

### (1) 变电所的电磁环境

继电保护装置应满足有关电磁兼容标准,使其能承受所在变电所内下列电磁干扰引起的后果:

- 1) 高压电路开、合操作或绝缘击穿、闪络引起的高频暂态电流和电压。
- 2) 故障电流引起的地电位升高和高频暂态。
- 3) 雷击脉冲引起的地电位升高和高频暂态。
- 4) 工频磁场对电子设备的干扰。
- 5) 低压电路开、合操作引起的电快速瞬变。
- 6) 静电放电。
- 7) 无线电发射装置产生的电磁场。

上述各项干扰电平与变电所电压等级、发射源与感受设备的相对位置、接地网特性、外壳和电缆屏蔽特性及接地方式等因素有关,应根据干扰的具体特点和数值适当确定设备的抗扰度要求和采取必要的减缓措施。

### (2) 装置的抗扰度要求

保护和自动装置与外部电磁环境的特定界面接口称为端口,如图 4.4-58 所示,含电源端口、输入端口、输出端口、通信端口、外壳端口和功能接地端口。



图 4.4-58 设备端口示意图

装置各端口对有关的电磁干扰如射频电磁场及其引起的传导干扰、快速瞬变、1MHz 脉冲群、浪涌、静电放电、直流中断和工频干扰等的抗扰度要求,应符合 IEC 60255-26 国际标准及有关国家标准的要求,装置对各类电磁干扰的抗扰度试验标准参见表 4.4-13~表 4.4-17。

### (3) 电磁干扰的减缓措施

1) 应根据电磁环境的具体情况,采用接地、屏蔽、限幅、隔离及适当布线等措施,以减缓电磁干扰,满足保护设备的抗扰度要求。

2) 为人员和设备安全及电磁兼容要求,在变电所的开关场内及建筑物外,应设置符合有关标准要求的直接接地网。对继电保护及有关设备,为减缓高频电磁干扰的耦合,应在有关场所设置符合下列要求的等电位接地网。

①装设静态保护和控制装置的屏柜地面下宜用截面积不小于  $100\text{mm}^2$  的接地铜排直接连接构成等电位接地母线。接地母线应首末可靠连接成环网,并用截面积不小于  $50\text{mm}^2$ 、不少于 4 根铜排与变电所的接地网直接连接。

②静态保护和控制装置的屏柜下部应设有截面积不小于  $100\text{mm}^2$  的接地铜排。屏柜上装置的接地端子应用截面积不小

于  $4\text{mm}^2$  的多股铜线和接地铜排相连。接地铜排应用截面积不小于  $50\text{mm}^2$  的铜排与地面下的等电位接地母线相连。

3) 控制电缆应具有必要的屏蔽措施并妥善接地。

①在电缆敷设时,应充分利用自然屏蔽物的屏蔽作用。必要时,可与保护用电缆平行设置专用屏蔽线。

②屏蔽电缆的屏蔽层应在开关场和控制室内两端接地。在控制室内屏蔽层宜在保护屏上接于屏柜内的接地铜排;在开关场屏蔽层应在与高压设备有一定距离的端子箱接地。互感器每相二次回路经两芯屏蔽电缆从高压箱体引至端子箱,该电缆屏蔽层在高压箱体和端子箱两端接地。

③电力线载波用同轴电缆屏蔽层应在两端分别接地,并紧靠同轴电缆敷设截面积不小于  $100\text{mm}^2$  两端接地的铜导线。

④传送音频信号应采用屏蔽双绞线,其屏蔽层应在两端接地。

⑤传送数字信号的保护与通信设备间的距离大于 50m 时,应采用光缆。

⑥对于低频、低电平模拟信号的电缆,如热电偶用电缆,屏蔽层必须在最不平衡端或电路本身接地处一点接地。

⑦对于双层屏蔽电缆,内屏蔽应一端接地,外屏蔽应两端接地。

### (4) 电缆及导线的布线应符合下列要求

- 1) 交流和直流回路不应合用同一根电缆。
- 2) 强电和弱电回路不应合用一根电缆。
- 3) 保护用电缆与电力电缆不应同层敷设。
- 4) 交流电流和交流电压不应合用同一根电缆。
- 5) 保护用电缆敷设路径,尽可能避开高压母线及高频暂态电流的入地点,如避雷器和避雷针的接地点、并联电容器、电容式电压互感器、结合电容及电容式套管等设备。

6) 与保护连接的同一回路应在同一根电缆中走线。

(5) 保护输入回路和电源回路应根据具体情况采用必要的减缓电磁干扰措施

1) 保护的输入、输出回路应使用空触点、光耦或隔离变压器隔离。

2) 直流电压在 110V 及以上的中间继电器应在线圈端子上并联电容或反向二极管作为消弧回路,在电容及二极管上都必须串入数百欧的低值电阻,以防止电容或二极管短路时将中间继电器线圈短接。二极管反向击穿电压不宜低于 1000V。

### (6) 保护装置抗扰度试验要求

保护装置应能承受表 4.4-13~表 4.4-17 的抗扰度试验,试验后仍应能满足相关设备的性能规范要求。

- 1) 外壳端口抗扰度试验(见表 4.4-13)。
- 2) 电源端口抗扰度试验(见表 4.4-14)。
- 3) 通信端口抗扰度试验(见表 4.4-15)。
- 4) 输入和输出端口抗扰度试验(见表 4.4-16)。
- 5) 功能接地端口抗扰度试验(见表 4.4-17)。

表 4.4-13

外壳端口抗扰度试验

序号	电磁干扰类型	试验规范	单位	参照标准	
				国际标准	国家标准
1	射频电磁场 调幅	80~1000 10 80	MHz V/m 非调制, rms %AM (1kHz)	IEC 60255-22-3	GB/T 14598.9
2	静电放电 接触 空气	6 8	kV (放电电压) kV (放电电压)	IEC 60255-22-2	GB/T 14598.14

表 4.4-14 电源端口抗扰度试验

序 号	电磁干扰类型	试验规范		单 位	参照标准	
					国际标准	国家标准
1	射频场引起的传导干扰  调幅	0.15~80 10 150 80		MHz V 非调制, rms $\Omega$ 电源阻抗 % AM (1kHz)	IEC 60255-22-6	
2	快速瞬变  A 级  B 级	5/50 4 2.5 2 5		ns $T_R/T_H$ kV 峰值 kHz 重复频率 kV 峰值 kHz 重复频率	IEC 60255—22—4	GB/T 14598.10
3	1MHz 脉冲群   差模 共模	0.1 75 $\geq 40$ 200 1 2.5	1 75 400 200 1 2.5	MHz 频率 ns $T_R$ Hz 重复频率 $\Omega$ 电源阻抗 kV 峰值 kV 峰值	IEC 60255—22—1	GB/T 14598.13
4	浪涌  线对线   线对地	1.2/50 (8/20) 2 0.5, 1 0 18 0.5, 1, 2 10 9		$\mu s$ $T_R/T_H$ 电压 (电流) $\Omega$ 电源阻抗 kV 放电电压 $\Omega$ 耦合电阻 $\mu F$ 耦合电容 kV 放电电压 $\Omega$ 耦合电阻 $\mu F$ 耦合电容	IEC 60255—22—5	
5	直流电压中断	100 5, 10, 20 50, 100, 200		% 降低  ms 中断时间	IEC 60255—11	GB/T 8367

表 4.4-15 通信端口抗扰度试验

序 号	电磁干扰类型	试验规范		单 位	参照标准	
					国际标准	国家标准
1	射频场引起的传导干扰  调幅	0.15~80 10 150 80		MHz V 非调制, rms $\Omega$ 电源阻抗 % AM (1kHz)	IEC 60255—22—6	
2	快速瞬变  A 级  B 级	5/50 2 5 1 5		ns $T_R/T_H$ kV 峰值 kHz 重复频率 kV 峰值 kHz 重复频率	IEC 60255—22—4	GB/T 14598.10
3	1MHz 脉冲群   差模 共模	0.1 75 $\geq 40$ 200 0 1	1 75 400 200 0 1	MHz 频率 ns $T_R$ Hz 重复频率 $\Omega$ 电源阻抗 kV 峰值 kV 峰值	IEC 60255—22—1	GB/T 14598.13
4	浪涌  线对地	1.2/50 8/20 2 0.5, 1 0 0		$\mu s$ $T_R/T_H$ 电压 $\mu s$ $T_R/T_H$ 电流 $\Omega$ 电源阻抗 kV 放电电压 $\Omega$ 耦合电阻 $\mu F$ 耦合电容	IEC 60255—22—5	

表 4.4-16 输入和输出端口抗扰度试验

序 号	电磁干扰类型	试验规范		单 位	参照标准	
					国际标准	国家标准
1	射频场引起的传导干扰   调幅	0.15~80		MHz	IEC 60255-22-6	
		10		V 非调制, ms		
		150		$\Omega$ 电源阻抗		
		80		% AM (1 kHz)		
2	快速瞬变  A 级  B 级	5/50		ns $T_R/T_H$	IEC 60255-22-4	GB/T 14598.10
		4		kV 峰值		
		2.5		kHz 重复频率		
		2		kV 峰值		
3	1 MHz 脉冲群     差模 共模	0.1		MHz 频率	IEC 60255-22-1	GB/T 14598.13
		75		ns $T_R$		
		$\geq 40$		Hz 重复频率		
		200		$\Omega$ 电源阻抗		
		1		kV 峰值		
		2.5		kV 峰值		
		1		Hz 重复频率		
		2.5		kV 峰值		
4	浪涌   线对线   线对地	1.2/50 (8/20)		$\mu$ s $T_R/T_H$ 电压 (电流)	IEC 60255-22-5	
		2		$\Omega$ 电源阻抗		
		0.5, 1		kV 放电电压		
		40		$\Omega$ 耦合电阻		
		0.5		$\mu$ F 耦合电容		
		0.5, 1, 2		kV 放电电压		
		40		$\Omega$ 耦合电阻		
		0.5		$\mu$ F 耦合电容		
5	工频干扰  A 级 差模   A 级 共模   B 级 差模   B 级 共模	150		V (rms)	IEC 60255-22-7	
		100		$\Omega$ 耦合电阻		
		0.1		$\mu$ F 耦合电容		
		300		V (rms)		
		220		$\Omega$ 耦合电阻		
		0.47		$\mu$ F 耦合电容		
		100		V (rms)		
		100		$\Omega$ 耦合电阻		
		0.047		$\mu$ F 耦合电容		
		300		V (rms)		
		220		$\Omega$ 耦合电阻		
		0.47		$\mu$ F 耦合电容		

表 4.4-17 功能接地端口抗扰度试验

序 号	电磁干扰类型	试验规范		单 位	参照标准	
					国际标准	国家标准
1	射频场引起的传导干扰   调幅	0.15~80		MHz	IEC 60255-22-6	
		10		V 非调制, rms		
		150		$\Omega$ 电源阻抗		
		80		% AM (1kHz)		
2	快速瞬变  A 级  B 级	5/50		ns $T_R/T_H$	IEC 60255-22-4	GB/T 14598.10
		4		kV 峰值		
		2.5		kHz 重复频率		
		2		kV 峰值		
		5		kHz 重复频率		



9 保护用电流互感器

9.1 性能要求

(1) 影响电流互感器性能的因素

保护用电流互感器性能应满足系统或设备故障工况的要求，即在短路时，将互感器所在回路的一次电流传变到二次回路，且误差不超过规定值。电流互感器的铁心饱和是影响其性能的最重要因素。

在稳态对称短路电流（无非周期分量）下，影响互感器饱和的主要因素是：短路电流幅值、二次回路（包括互感器二次绕组）的阻抗、电流互感器的工频励磁阻抗、电流互感器匝数比和剩磁等。

在实际的短路暂态过程中，短路电流可能存在非周期分量而严重偏移。这可能导致电流互感器严重暂态饱和，如图4.4-59所示。为保证准确传变暂态短路电流，电流互感器在暂态过程中所需磁链可能是传变等值稳态对称短路电流磁链的几倍至几十倍。

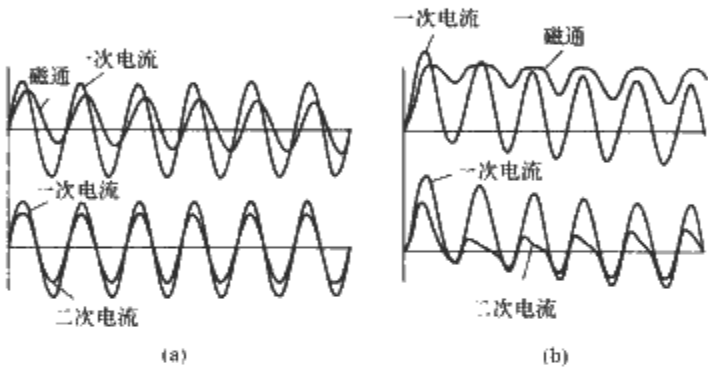


图 4.4-59 电流互感器一次电流与二次电流的关系  
(a) 一次电流无偏移；(b) 一次电流全偏移

(2) 对保护用电流互感器的性能要求

1) 保护装置对电流互感器的性能要求如下：

①保证保护的可靠性。要求保护区内故障时电流互感器误差不会导致保护误动作或无选择性动作。

②保证保护的安全性。要求保护区外最严重故障时电流互感器误差不会导致保护误动作或无选择性动作。

2) 解决电流互感器饱和对保护动作性能的影响，可采用下述两类措施：

①选择适当类型和参数的互感器，保证互感器饱和特性不致影响保护动作性能。对电流互感器的基本要求是保证在稳态短路电流下的误差不超过规定值。对短路电流非周期分量和互感器剩磁等引起的暂态饱和影响，则应根据具体情况和运行经验，妥当处理。

②保护装置采取减轻饱和影响的措施，保护互感器在特定饱和条件下不致影响保护性能。保护装置采取措施减缓电流互感器饱和影响，特别是暂态饱和影响，对降低电流互感器造价及提高保护动作的安全性和可靠性具有重要意义，应成为保护装置的发展方向。特别是微机保护具有较大的潜力可以利用。当前母线差动保护装置一般都采取了抗饱和措施，取得了良好效果。对其他保护装置也宜提出适当的抗饱和要求。

9.2 类型选择

(1) 保护用电流互感器的类型

保护用电流互感器分为以下两大类：

1) P类（P意为保护）电流互感器。包括PR和PX类。该类电流互感器的准确限值是由一次电流为稳态对称电

流时的复合误差或励磁特性拐点来确定的。

2) TP类（TP意为暂态保护）电流互感器。该类电流互感器的准确限值是考虑一次电流中同时具有周期分量和非周期分量，并按某种规定的暂态工作循环时的峰值误差来确定的。该类电流互感器适用于考虑短路电流中非周期分量暂态影响的情况。

(2) 电流互感器类型选择原则

1) 保护用电流互感器的性能应满足继电保护正确动作的要求。首先应保证在稳态对称短路电流下的误差不超过规定值。对于短路电流非周期分量和互感器剩磁等的暂态影响，应根据互感器所在系统暂态问题的严重程度，所接保护装置的特性、暂态饱和可能引起的后果和运行经验等因素，予以合理考虑。如保护装置具有减缓电流互感器饱和影响的功能，则可按保护装置的要求选用适当的互感器。

2) 110kV及以下系统保护用电流互感器一般按稳态条件选择，选用P类互感器。

3) 非直接接地系统的接地保护用互感器，可根据具体情况采用由三相电流互感器组成的零序滤过器、专用的电缆式或母线式零序电流互感器。

9.3 额定参数选择

保护用电流互感器的额定参数除按照一般规定进行选择外，还要考虑以下情况：

1) 变压器差动回路电流互感器额定一次电流的选择，应尽量使两侧互感器的二次电流进入差动继电器时基本平衡。当采用微机保护时，可由保护装置实现两侧变比差和相角差的校正。在选择额定一次电流及二次绕组接线方式时，就注意使变压器两侧互感器的二次负荷尽量平衡，以减少可能出现的差电流。

2) 中性点有效接地系统或中阻抗接地系统变压器中性点接地回路的电流互感器，在正常情况下一二次电流为零，应根据实际应用情况，不平衡电流的实测值或经验数据，并考虑接地保护灵敏系数和互感器的误差限值以及动、热稳定等因素，选用适当的额定一次电流。

3) 对中性点非有效接地系统的电缆式或母线式零序电流互感器，因接地故障电流很小，需要按保证保护装置动作灵敏系数来选择变比及有关参数。

9.4 准确级及误差限值

(1) P类及PR类电流互感器

1) P类及PR类电流互感器的准确级以在额定准确限值一次电流下的最大允许复合误差的百分数标称，标准准确级为5P、10P、5PR和10PR。

2) P类及PR类电流互感器在额定频率及额定负荷下，电流误差、相位误差和复合误差应不超过表4.4-18所列的限值。

表 4.4-18 P类及PR类电流互感器误差限值

准确级	额定一次电流下的 电流误差 (%)	额定一次电流 下的相位差		额定准确限值一次 电流下的复合误差(%)
		±min	±crad	
5P、5PR	±1	60	1.8	5
10P、10PR	±3	—	—	10

3) PR类电流互感器剩磁系数应小于10%，有些情况下应规定T<sub>s</sub>值以限制复合误差。

4) 变压器主回路、220kV及以上电压线路宜采用复合

误差较小(波形畸变较小)的5P或5PR级电流互感器。其他回路可采用10P或10PR级电流互感器。

5) P类及PR类保护用电流互感器能满足误差要求的准确限值系数 $K_{alf}$ 一般可取5、10、15、20和30。必要时,可与制造部门协商,采用更大的 $K_{alf}$ 值。

#### (2) PX电流互感器的特性

PX电流互感器的性能由以下参数确定:

- 1) 额定一次电流( $I_{1n}$ )。
- 2) 额定二次电流( $I_{2n}$ )。
- 3) 额定匝数比,匝数比误差应不超过 $\pm 0.25\%$ 。
- 4) 额定拐点电动势( $E_k$ )。
- 5) 额定拐点电动势的最大励磁电流( $I_0$ )。
- 6) 在温度为 $75^\circ\text{C}$ 时二次绕组最大电阻( $R_{ct}$ )。
- 7) 额定负荷电阻( $R_{bn}$ )。
- 8) 计算系数( $K_x$ )。

### 9.5 稳态性能验算

P类、PR类和PX类电流互感器的性能验算。

#### (1) 保护校验故障电流

为保证保护动作的可信赖性和安全性,电流互感器通过规定的保护校验故障电流 $I_{pcf}$ 按下述原则确定:

1) 按可信赖性要求校验保护动作性能时, $I_{pcf}$ 应按区内最严重故障短路电流确定。对于过电流和距离等保护,应同时考虑下述两种情况:

①在保护区末端故障时, $I_{pcf}$ 应为流过互感器最大短路电流 $I_{scmax}$ 。

②在保护安装点近处故障时,允许互感器误差超出规定值,但必须保证保护装置动作的可靠性和快速性。 $I_{pcf}$ 应根据流过互感器最大短路电流 $I_{scmax}$ 和保护装置的类型、性能及动作速度等因素确定。

2) 按安全性要求校验保护动作性能时, $I_{pcf}$ 应按区外最严重故障短路电流确定。如电流差动保护的 $I_{pcf}$ 应为保护区外短路时流过互感器的最大短路电流 $I_{scmax}$ ;方向保护的 $I_{pcf}$ 应为可能使方向元件误动的保护反方向故障流过电流互感器的最大短路电流 $I_{scmax}$ 。同时,还需要注意防止逐级配合的过电流或阻抗等保护因相邻两处互感器饱和不同而失去选择性。

3) 保护校验故障电流 $I_{pcf}$ 宜按系统规划容量确定。

#### (2) P类及PR类电流互感器性能验算

1) 一般选择验算。一般选择验算可按下列条件进行:

①电流互感器的额定准确限值一次电流 $I_{pel}$ 应大于保护校验故障电流 $I_{pcf}$ ,必要时,还应考虑互感器暂态饱和影响。即准确限值系数 $K_{alf}$ 应大于 $KK_{pcf}$ ( $K$ 为用户规定的暂态系数, $K_{pcf}$ 为保护校验系数)。

②电流互感器额定二次负荷 $R_{bn}$ 应大于实际二次负荷 $R_b$ 。

按上述条件选择的电流互感器可能尚有潜力未得到合理利用。在系统容量很大,而额定二次电流选用1A,以及采用电子式仪表和微机保护时,经常遇到 $K_{alf}$ 不够但二次输出容量有裕度的情况。因此,必要时可进行较精确验算,如按额定二次极限电动势或实际准确限值系数曲线验算,以便更合理地选用电流互感器。

2) 按额定二次极限电动势验算,对于低漏磁电流互感器可按额定二次极限电动势进行验算。

①P类电流互感器的额定二次极限电动势( $E_{sl}$ )为(二次负荷仅计及电阻)

$$E_{sl} = K_{alf} I_{sn} (R_{ct} + R_{bn}) \quad (4.4-23)$$

式中, $K_{alf}$ 为准确限值系数; $I_{sn}$ 为额定二次电流; $R_{ct}$ 为电流互感器二次绕组电阻; $R_{bn}$ 为电流互感器额定负荷。

上述各参数制造部门应在产品说明书中标明。

②继电保护动作性能校验要求的二次感应电动势( $E_s$ )为

$$E_s = KK_{pcf} I_{sn} (R_{ct} + R_b) \quad (4.4-24)$$

式中, $K_{pcf}$ 为保护校验系数,与继电保护动作原理有关; $K$ 为给定暂态系数; $R_b$ 为电流互感器实际二次负荷。

其他同式(4.4-23)。

③电流互感器的额定二次极限电动势应大于保护校验要求的二次感应电动势,即

$$E_{sl} \geq E_s \quad (4.4-25)$$

3) 或所选电流互感器的准确限值系数 $K_{alf}$ 应符合下式要求

$$K_{alf} \geq \frac{KK_{pcf}(R_{ct} + R_b)}{(R_{ct} + R_{bn})} \quad (4.4-26)$$

为此,要求制造部门确认所提供电流互感器为低漏磁特性,提供的互感器技术规范中应包括二次绕组的电阻值。

4) 按实际准确限值系数曲线验算。如果制造厂提供的电流互感器不满足低漏磁特性要求。当提高准确限值一次电流时,互感器可能出现局部饱和,不能采用上述额定二次极限电动势法进行验算。此时,如用户需要提高所选互感器的准确限值系数 $K_{alf}$ ,则应由制造厂提供由直接法试验求得的或经过误差修正后实际可用的准确限值系数 $K'_{alf}$ 与数 $R_b$ 的关系曲线。根据实际的 $R_b$ ,从曲线上查出电流互感器的准确限值系数 $K'_{alf}$ ,如图4.4-60所示。要求 $K'_{alf} > KK_{pcf}$ 。其中 $K_{pcf}$ 为保护区校验系数, $K$ 为给定暂态系数。

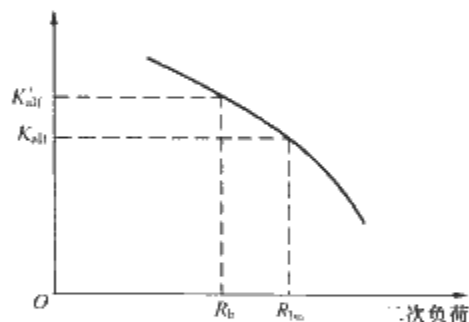


图 4.4-60 按符合实际的误差曲线选择电流互感器

#### (3) PX电流互感器的性能验算

PX电流互感器为低漏磁电流互感器,其准确性能由其励磁特性确定,励磁特性的额定拐点电动势 $E_k$ 可由下式计算

$$E_k = K_x (R_{ct} + R_{bn}) I_{sn} \quad (4.4-27)$$

式中各量参见9.5中各公式。

要求额定拐点电动势( $E_k$ )大于继电保护动作性能要求的电流互感器二次感应电动势( $E_s$ ),即 $E_k > E_s$ 。求 $E_s$ 的方法参见式(4.4-24)。

### 9.6 二次负荷计算

1) 保护用电流互感器二次负荷为

$$Z_b = \Sigma K_{re} Z_r + K_{lc} R_1 + R_c \quad (4.4-28)$$

式中, $Z_r$ 为继电器电流线圈阻抗,对于数字继电器可忽略电抗,仅计及电阻 $R_r$ , $\Omega$ ;  $R_1$ 为连接导线电阻, $\Omega$ ;  $R_c$ 为接触电阻,一般为 $0.05\Omega \sim 0.1\Omega$ ;  $K_{re}$ 为继电器阻抗换算系数,参见表4.4-19;  $K_{lc}$ 为连接导线阻抗换算系数,参见表4.4-19。

2) 保护用电流互感器在各种接线方式时不同的短路类型下的阻抗换算系数见表 4.4-19。

表 4.4-19 继电器及连接导线阻抗换算系数表

电流互感器 接线方式	阻抗换算系数							
	三相短路		两相短路		单相短 路接地		经 Yd 变压器 两相短路	
	$K_k$	$K_{re}$	$K_k$	$K_{re}$	$K_k$	$K_{re}$	$K_k$	$K_{re}$
单相	2	1	2	1	2	1		
三相星形	1	1	1	1	2	1	1	1
两相 星形	$Z_{m0}=Z_r$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$	2	2	2	3	3
	$Z_{m0}=0$	$\sqrt{3}$	1	2	2	1	3	1
两相星形	$2\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$	4	2				
三角形	3	3	3	3	2	2	3	3

3) 保护和自动装置电流回路功耗应根据实际应用情况确定,其功耗值与装置实现原理和构成元件有关,差别很大。

4) 工程应用中应尽量降低保护用电流互感器所接二次负荷,以减小二次感应电动势,避免互感器饱和。必要时,可选择额定负荷显著大于实际负荷的互感器,以提高互感器抗饱和能力。

微型保护装置电流回路全套保护电流回路功耗小于或等于 1.0VA/相。

## 10 交流操作的继电保护

### 10.1 交流操作电源

继电保护为交流操作电源时,采用断路器弹簧操动机构中的分励脱扣器。因此,交流操作电源主要是供给控制、合闸和分励信号等回路使用。交流操作的电源为交流 220V,它有两种形式。

#### (1) 常用的交流操作电源

常用的交流操作电源接线如图 4.4-61 所示。图中两路电源(工作和备用)可以进行切换,其中一路由电压互感器

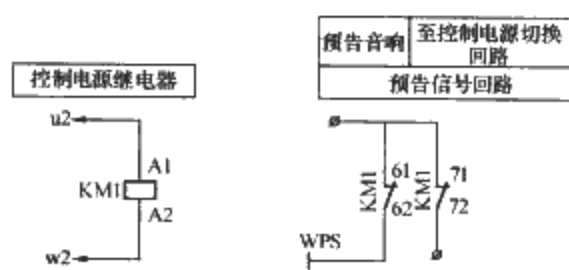
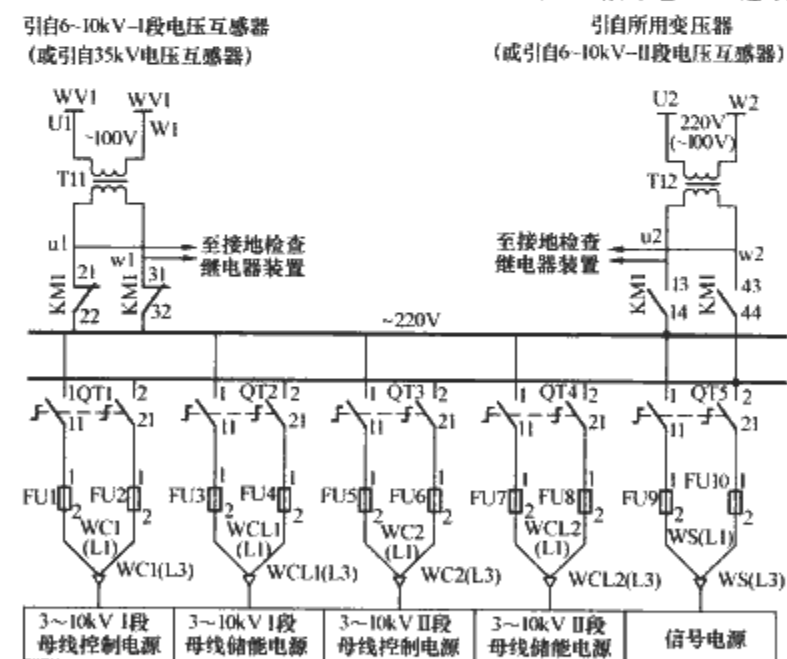


图 4.4-61 交流操作电源接线图

经 100/220V 变压器供给电源,而另一路由所用变压器或其他低压线路经 220/220V 变压器(也可由另一段母线电压互感器经 100/220V 变压器)供给电源。两路电源中的任一路均可作为工作电源,另一路作为备用电源。控制电源采用不接地系统,并设有绝缘检查装置。

T11、T12—中间变压器, BK—400 型; KM1—中间继电器, CA2—DN122MLA1—D22 型; QT1~5—组合开关, HZ15—10/201 型; FU1~FU10—熔断器, RL6—25/10 型。

#### (2) 带 UPS 的交流操作电源

1) UPS 操作电源。由于上述方式获得的电源是取自系统电压,当被保护元件发生短路故障时,短路电流很大,而电压却很低,断路器将会失去控制、信号、合闸以及分励脱扣器电源。所以交流操作的电源可靠性较低。随着交流不间断电源技术的发展和成本的降低,使交流操作应用交流不间断电源(UPS)成为可能。这样就增加了交流操作电源的可靠性。由于操作电源比较可靠,继电保护则可以采用分励脱扣器线圈跳闸的保护方式。带 UPS 的交流操作电源接线如图 4.4-62 所示。当采用 UPS 电源分励脱扣时,也可采用微机继电保护。

从图 4.4-62 可以看到,当系统电源正常时,由系统电源小母线向储能回路、控制及信号回路(通过 UPS 电源)供电,同时可向 UPS 电源进行充电或浮充电。当系统发生故障时,外电源消失,由 UPS 电源向控制回路及信号回路供电,使断路器可靠跳闸并发出信号。

#### 2) UPS 电源的选择。

a. 小容量(5kVA 以下)的 UPS 电源分为后备式和在线式两种。作为交流操作的控制、保护、信号电源应选用在线式的 UPS 电源,其工作原理框图,如图 4.4-63 所示。

UPS 首先由系统电源供电,经调制、整流、稳压将交流 220V 转换为直流,并给蓄电池充电,然后由逆变器将直流电转换成交流电,并保证输出电压及频率能满足负荷的要求,同时控制逻辑与静态开关做不间断的通信,跟踪旁路输出电压。当系统电源发生故障时,整流器不再输出任何电源,由蓄电池放电给逆变器,再由逆变器将蓄电池放出的直流电转换成交流电。若逆变器出现故障,过载等情况时,逆变器自动与负荷断开,通过旁路向负荷供电。如 UPS 系统需要进行维护,则由维护旁路向负荷供电。

b. UPS 电源容量的选择。当系统电源发生故障时,由 UPS 提供控制、保护及信号电源,而不考虑储能电源的容量,所以 UPS 电源容量主要考虑以下几个方面的负荷:

①由系统电源供电时,正常的控制操作及信号回路所消耗的容量  $C_1$ 。

②当系统发生故障时,两台断路器同时分闸所消耗的容量  $C_2$ 。

③系统电源正常供电或发生故障时一台断路器的合闸电磁铁的额定容量  $C_3$ 。正常操作时所需容量为

$$C = K_k(C_1 + C_3) \quad (4.10-1)$$

事故操作时所需容量为

$$C' = K_k(C_2 + C_3) \quad (4.10-2)$$

式中,  $K_k$  为可靠系数取 1.1~1.2。

取两式中较大者作为 UPS 的选择容量。考虑到交流操作的经济性和实用性,UPS 电源的容量不宜超过 3kVA。

带 UPS 电源方案一般适用于民用建筑供电系统中,当一次接线简单且断路器台数不多时选用,同时亦不考虑分段断路器自投及出线自动重合闸装置。值得注意的是 UPS 电

源作为开关柜的控制、保护及信号电源，对配电装置正确动作，尽快切除故障回路起着极为重要的作用。因此，UPS电源本身的可靠性及运行维护的合理性非常重要。为了进一步增加UPS电源的可靠性，可使用两套UPS电源装置。两

套UPS装置可并联也可串联使用。当两套UPS装置并联时，需采取并联旁路闭锁措施。

3) UPS电源系列型谱。UPS电源的输出电流等级和输出容量的系列型谱见表4.4-20。

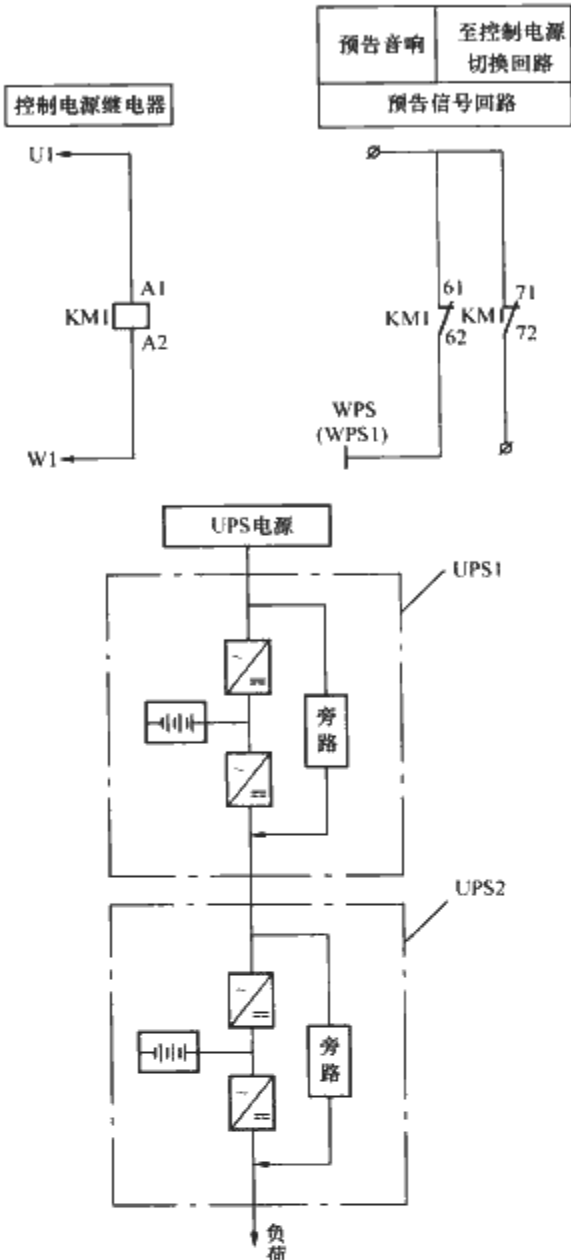
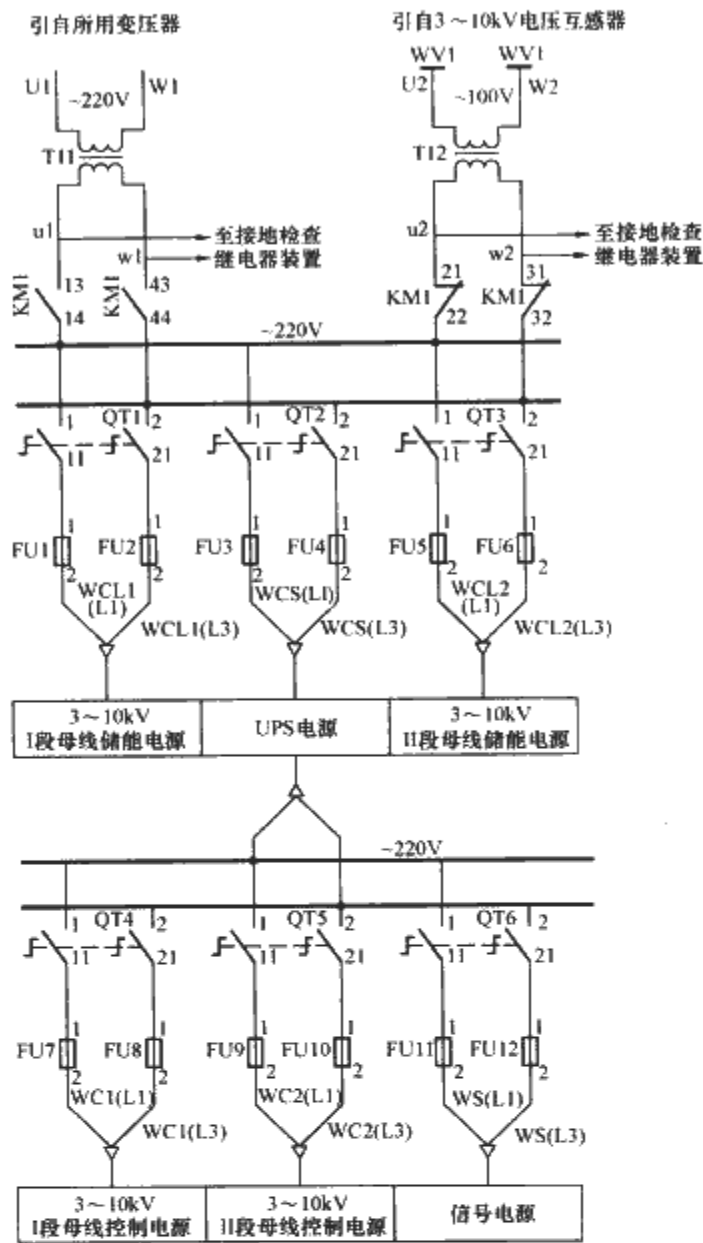


图 4.4-62 带 UPS 的交流操作电源接线图

T11、T12—中间变压器，BK—400 型；KM1—中间继电器，CA2—DN122MLA1—D22 型；  
QT1~QT6—组合开关，HZ15~10/201 型；FU1~FU12—熔断器，RL6—25/10 型

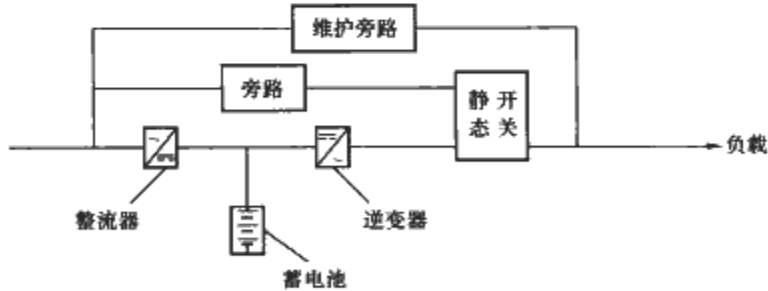


图 4.4-63 在线式 UPS 原理图

表 4.4-20 UPS 系列型谱表

输出电流 (A)	输出容量 (kVA)	输出电流 (A)	输出容量 (kVA)
	单相 (220V)		单相 (220V)
0.5	0.11	10.0	2.20
1.0	0.22	15.0	3.30
2.0	0.44	20.0	4.40
5.0	1.10	30.0	6.60

10.2 交流操作数字继电保护

交流操作数字继电保护装置与直流操作数字继电保护装置基本相同，参见各类被保护电气设备的保护配置，整定计算及测控装置的有关章节。

## 第5章 中压配电系统自动化

### 1 配电自动化系统定义

#### 1.1 配电自动化系统

配电自动化系统是应用现代电子技术、通信技术、计算机网络技术,将配电网实时信息、离线信息、用户信息、电网结构参数和地理信息进行安全集成,构成完整的自动化及管理系统,实现配电网正常运行及事故情况下的监测、保护、控制和配电管理。它是配电自动化与配电管理集成为一体的系统。

#### 1.2 配电主站

配电主站是整个配电自动化系统的监控和管理中心。

#### 1.3 配电子站

配电子站或称配电自动化系统中压监控单元,是为分布主站功能、优化信息传输及系统结构层次、方便通信系统组网而设置的中间层,实现所辖范围内的信息汇集、处理以及故障处理、通信监视等功能。

#### 1.4 配电远方终端

配电远方终端是用于中低压电网的各种远方监测、控制单元的总称。包括配电开关监控终端 FTU (Feeder Terminal Unit)、配电变压器监测终端 TTU (Transformer Terminal Unit)、开闭所、公用及终端配电所的监控终端 DTU (Distribution Terminal Unit) 等。

### 2 配电主站的功能

#### 2.1 配电主站的实时功能

##### 2.1.1 数据采集

1) 基本功能需采集的模拟量,如电压、电流、有功功率、无功功率。

2) 供选配的功能需采集的模拟量,如功率因数、温度、频率。

3) 需采集的数字量,如电能量、标准时钟接收输出。

4) 基本功能需采集的状态量,如开关状态、事故跳闸信号、保护动作信号和异常信号、终端状态信号、开关储能信号、通道状态信号。

5) 供选配的功能需采集的状态量,如 SF<sub>6</sub> 开关压力信号。

##### 2.1.2 数据传输

1) 与配电子站和远方终端通信。

2) 与调度自动化系统通信。

3) 与管理信息系统交换信息。

4) 与用电管理系统交换信息。

5) 与其他系统交换信息。

##### 2.1.3 数据处理

1) 有功功率总加。

2) 无功功率总加。

3) 有功电能量总加。

4) 无功电能量总加。

5) 越限告警。

6) 计算功能。

7) 合理性检查和处理。

##### 2.1.4 控制功能

1) 基本功能。有开关分合闸、闭锁控制功能。

2) 选配功能。有保护及重合闸远方投停、保护定值远方设置。

##### 2.1.5 事件报告

1) 基本功能有事件顺序记录功能。

2) 选配功能有事故追忆功能。

##### 2.1.6 人机联系

1) 画面显示与操作的功能配电网网络图。配变电所、一次概略图;系统实时数据显示;实时负荷曲线图及预测负荷曲线图、选出最大值、最小值、平均值;主要事件顺序显示;事件报警(推图、语音、文字、打印);配电自动化系统运行状况图;发送遥控、校时等;修改数据库的数据;生成与修改图形报表。

2) 报表管理与打印

① 报表编辑。

② 定时打印。

③ 召唤打印。

④ 异常及事故打印。

⑤ 操作记录存储、查询、打印。

3) 根据需要设大屏幕功能。

#### 2.2 配电主站的管理功能

##### 2.2.1 指标管理内容

1) 采集配变电所、配电网、负荷中与可靠性管理有关的实时数据,录入其他采集数据,进行配电系统的供电可靠性分析与管理。

2) 采集配变电所、公用配电变压器、专用变压器等实时电能数据,录入所需手抄电能数据,进行线损分析、分台区分析与管理。

3) 采集配变电所、公用配电变压器、专用变压器等电压监测点的实时电压数据,录入其他电压监测点的电压数据,进行电压合格率分析与管理。

##### 2.2.2 位置信息系统管理内容

(1) 图形及数据维护

在建筑电气工程中,位置信息系统管理所含图形及数据维护内容有:网络图(在地图上表示变电所和电力线、电信设备和传输线之类的电网的概略图)的自动生成;图形数据的录入、转换和编辑(包括道路图、总平面布置图、行政区规划图、地形图、电网设备分布图等);属性数据的录入、转换和编辑;属性数据与图形数据的关联;含有配电网设备分布图及其属性数据的工程图的打印输出(可输出全图和局部图);图形建模;系统内数据一

致性。

#### (2) 查询与统计

在建筑电气工程中需查询与统计的功能有：设备图形双向查询功能（既可通过图形属性查询设备属性，又可通过设备属性定位其相应位置）；区域查询与统计；分配电所查询与统计；网络发布功能；其他查询。

#### 2.2.3 运行管理内容

##### (1) 供电系统工况管理

供电系统工况管理所需的基本功能：实时供电系统概略图；实时网络图；实时配电网络工况监测；变电站（所）供电范围分析与显示；故障区域分析与显示。

供电系统工况管理可选配的功能：配电变压器负荷率；继电保护整定值；实时网络运行方式分析；配电变压器三相不平衡度监视。

##### (2) 停电管理

停电管理的功能有事故及检修停电范围分析、显示；停电事项管理；挂牌管理；事故预演和重演。

##### (3) 工作票单管理

工作票单管理所需功能：操作票、工作票生成；操作票、工作票、停电申请单显示、打印、存储；网上传递、网上签名。

### 3 配电子站的功能

#### 3.1 数据采集

1) 基本功能需采集的状态量，如断路器、隔离开关和手车。

2) 基本功能需采集的模拟量，如电流、电压、有功功率和无功功率。

3) 基本功能需采集的电能量，如电源进线、变压器回路、馈出线路和需用电考核的电动机回路。

4) 供选配的功能，如事件顺序记录。

#### 3.2 控制功能

基本功能有当地控制和远方控制两种。

#### 3.3 数据传输

1) 基本功能有与主站和终端通信。

2) 选配功能有支持多种通信规约、与其他智能设备通信。

#### 3.4 维护功能

1) 基本功能有当地维护。

2) 选配功能有远方维护。

#### 3.5 故障处理

选配功能有故障区段定位、故障区段隔离、非故障区段恢复供电。

#### 3.6 通信监视

基本功能有通信故障监视、通信故障上报。

#### 3.7 其他功能

基本功能有校时、设备自诊断及程序自恢复、后备电源。

### 4 配电远方终端的功能

#### 4.1 数据采集

##### 4.1.1 状态量

1) 基本功能有开关位置、终端状态、开关储能、操作电源。

2) 选配功能有 SF<sub>6</sub> 开关压力信号、通信状态、保护动作信号和异常信号。

##### 4.1.2 模拟量

1) 基本功能有电流、电压、有功功率、无功功率、功率因数、电能量。

2) 选配功能有低压电流、低压电压、低压有功功率、低压无功功率。

#### 4.2 控制功能

选配功能有开关分合闸。

#### 4.3 数据传输

1) 基本功能有上级通信、校时、电能量转发。

2) 选配功能有下级通信。

#### 4.4 维护功能

1) 基本功能有当地参数设置。

2) 选配功能有远程参数设置。

#### 4.5 其他功能

1) 基本功能有程序自恢复、终端用后备电源及自动投入、最大需求量及出现时间、失电数据保护、断电时间。

2) 选配功能有设备自诊断、当地显示、备用电源自动投入、电压合格率统计、模拟量定时存储、配电变压器有载调压、配电电容器自动投停、终端蓄电池自动维护、其他当地功能。

### 5 配电自动化系统通信配置

#### 5.1 通信介质

通信介质可为光纤、电力线载波和通信电缆等。

#### 5.2 通信协议

通信协议应符合中华人民共和国国家现行标准或国际标准的规定。

#### 5.3 通信接口

通信接口为 RS232、RS485 或网络接口。

传输速率选用 600bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19.2kbit/s、2048kbit/s 或 10Mbit/s 等。

### 6 配电自动化系统的主要技术指标

配电自动化系统的主要技术指标，见表 4.5-1。

表 4.5-1 配电自动化系统的主要技术指标

内 容		指 标
模拟量	(1) 遥控综合误差	≤1.5%
	(2) 遥测合格率	≥98%



续表

内 容		指 标
状态量	通信动作正确率(年)	$\geq 99\%$
遥控	(1) 遥控正确率	$\geq 99.99\%$
	(2) 遥控拒动率	$\leq 2\%/月$
系统响应时间	(1) 开关量变位由终端传递到子站	$< 5s$ (光纤方式)
	(2) 开关量变位传递到主站	$< 10s$ (光纤方式)
	(3) 遥控完成时间	$< 20s$ (FTU级, 光纤方式)
	(4) 双机切换时间	$< 60s$
	(5) 站内事件分辨率(站内单个远方终端)	$< 10ms$
	(6) 重要模拟量越死区传递时间	$< 15s$
	(7) 画面调用时间	$< 5s$
	(8) 事故画面推出时间	$< 15s$
	(9) 故障区段隔离	$< 1min$
	(10) 非故障区段恢复送电时间	$< 2min$
子站、远方终端平均无故障时间		$\geq 8760h$
系统可用率		$\geq 99.9\%$
其他	配电自动化设备的环境温度、湿度、耐压强度、抗电磁干扰、抗振动、防雷等	满足 GB/T 13729—2002 和 DL/T 721—2000 要求

注 1. 国家标准《远动终端通用技术条件》(GB/T 13729—2002)。  
2. 行业标准《配电网自动化系统远方终端》(DL/T 1721—2000)。

## 7 配电自动化系统组成结构

### 7.1 配电自动化的基本特征

常规中压配电的二次系统主要由继电保护、就地监控、远动装置、录波装置等组成。继电保护和自动装置、远动装置等采用电磁型和晶体管型。在建筑电气工程中, 35kV 配电装置和 10kV 配电装置往往采用成套柜, 一次设备、操动机构、继电保护、就地监控等集成在成套柜中。变电所值班室设置预报报警、事故报警的信号箱(屏), 一次设备的故障报警信息通过线缆从成套柜送到信号箱有大量的连线。当继电保护、就地监控等系统不集成在成套柜中, 则继电保护部分、就地监控部分设置继电保护屏、控制屏、录波屏和中央信号屏等装置布置在变电所的控制室内, 一次设备的所有状态信息通过线缆送到控制室的中央信号屏。中压电源、母线电压经电压互感器输出的电压信息及每个设备电流互感器的二次电流信息通过线缆送到继电保护屏, 操作信息通过线缆从控制屏送到一次设备的操动机构等有更多的连线。继电保护和自动装置、远动装置等采用电磁型和晶体管型存在实时计算和控制性不高、参数采集不齐不准确、不能及时提供运行参数、缺乏自动控制和调控手段、无法远方修改继电保护或自动装置的定值、维护工作量大等不足。

随着计算机技术、自动化技术及通信技术的飞速发展, 以微型计算机为基础, 对传统的继电保护、控制方式、测量手段、通信和管理模式进行了全面的技术更新。实时采集由电压互感器和电流互感器输出的电压电流量, 经 CPU 运算处理输出管理、保护、监控所需的各种电气参数量, 测量显示数字化; 二次系统采用数字继电保护装置、数字监控、数字远动、数字录波装置等, 这些装置用 CPU 来完成计算机程序的运行, 实现保护算法和完成变化功能, 用存储器把程序和数

据保存起来可在脱离人的干预下自动地工作, 用定时器/计数器来触发采样信号引发中断采样及在 V/F 变换 A/D 中把频率信号变换为数字信号起关键性作用, 用开关量输入、输出回路作人机接口和发出控制、报警触头信号; 在中压配电系统中, 配电自动化系统的配电主站、配电子站及配电远方终端组成分布式集散系统, 软、硬件配置相对独立, 任何其他环节故障只影响局部功能的实现, 不会影响配电自动化整个系统, 系统的标准化程度和系统的开放性能好, 便于系统升级; 数字继电保护装置、数字监控、数字远动、数字录波装置等具有自检功能, 系统内部故障时能自检出故障部位, 大大缩短了故障检查时间, 方便检修; 数字型继电保护装置、数字监控、数字远动、数字录波装置等都设有数据通信接口, 通过先进的通信总线及合理的通信协议传输保护信息、控制信息、运行参数信息等, 使中压配电系统管理实现了自动化。这些新技术的应用, 大大提高了供电系统的可靠性; 功率因数自动补偿、电压自动调节、低周减载控制等提高了供电质量; 运行监控屏幕化, 在显示器上监控中压配电系统实时运行情况和对开关设备进行操作控制。

配电自动化的基本特征是: 在数字技术、数据通信技术、自动化技术的基础上, 功能综合化; 采用分布式集散系统; 通信采用总线; 计量显示数字化; 监控屏幕化; 运行管理自动化。

建筑电气工程中中压配电系统为终端中压配电系统, 不同于电力系统的中压配电系统。由于建筑电气工程中中压配电系统的配电自动化的程度取决于建筑工程的规模、功能、资金、用户的要求及运行维护水平等因素, 所以建筑电气工程中中压配电系统的配电自动化系统的配置差别很大。配电自动化系统的配置有的中压配电系统不单独设置配电自动化系统, 配电自动化监控功能由建筑设备监控系统来承担。有的仅在中压配电成套柜中设综合保护器(数字式保护继电器), 具有控制、监视、自检功能, 并设有通信接口; 有的在中压配电成套柜中设综合保护器, 并采用通信总线将实时信息送到中压配电柜所在站(所)测控主机; 有的通过通信总线使各站(所)测控主机与建筑电气工程中中压配电系统的监控主机信息交互, 组成整个工程的配电自动化系统; 有的在中压成套柜中仅完成数据采集及操作, 通过通信总线将采集的数据送到所在站(所)测控主机, 通过控制线缆控制开关通断; 有的配电自动化系统是一独立的系统是 BAS 的一个分系统, BAS 通过通信总线只能了解中压配电系统运行的一些技术参数和信息, 对中压配电系统不能操作, 控制和整定值修改等。不同配置的配电自动化系统组成结构也不同。

### 7.2 建筑设备监控系统(BAS)中的配电自动化系统的组成结构

#### 7.2.1 国家现行标准的规定

1) 国家标准《智能建筑设计标准》(GB/T 50314—2000)术语中定义建筑设备监控系统(BAS) Building Automation System 为“将建筑物或建筑群内的电力、照明、空调、给排水、防灾、保安、车库管理等设备或系统, 以集中监视、控制和管理为目的, 构成综合系统”。

2) 国家标准 GB/T 50314—2000 中第 5.3.1 条、第 5.3.2 条规定的智能建筑甲、乙级设计标准供配电设备监视系统应具有如下功能:

- ① 变配电设备各高低压主开关运行状况监视及故障报警。
- ② 电源及主供电回路电流值显示。

- ③ 电源电压值显示。
- ④ 功率因数测量。
- ⑤ 电能计量。
- ⑥ 变压器超温报警。
- ⑦ 应急电源供电电流、电压及频率监视。
- ⑧ 电力系统计算机辅助监控系统应留有通信接口。

3) 国家标准 GB/T 50314—2000 中第 5.3.3 条规定的智能建筑丙级设计标准供配电设备监视系统应具有的功能:

① 变配电设备各高低压主开关运行状况监视及故障报警。

- ② 电源及主供电回路电流值显示。
- ③ 电源电压值显示。
- ④ 功率因数测量。
- ⑤ 电能计量。
- ⑥ 应急电源供电电流、电压及频率监视。

4) 行业标准《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16) 要求建筑设备监控系统应对供配电系统的电气参数进行监测, 并规定 10kV 进线开关、配线开关应设置分、合闸状态显示, 故障跳闸报警; 10kV 分段开关应设置分、合闸状态显示, 故障跳闸报警; 10kV 进线回路、出线回路宜设置电流、电压显示, 趋势图和历史数据记录; 10kV 进线回路及配出回路应设置有功功率、无功功率、功率因数显示及历史数据记录; 宜设置功率因数补偿电流显示, 历史数据记录; 当有经济核算要求时, 应设置用电量累计; 宜设置变压器线圈温度显示、超温报警及运行时间累计。

综合上述国家现行标准的规定, 建筑设备监控系统(BAS) 应具有对建筑电气工程中压配电系统的监控功能, 且供货厂商可提供的建筑设备监控设备已具备对建筑电气工程中压配电系统的监控功能。由于建筑设备监控系统的功能是仅对建筑物内各类设备的监控、测量, 因此不具有保护功能。无人值班或少人值班的 35kV、10kV 配变电所的继电保护及自动装置十分复杂, 可靠性要求高, 应用行业专用软件, 且直接影响电力系统供电网络的安全性, 配电自动化系统的安全运行不允许 BAS 系统的干扰, 所以建筑设备监控系统使用到中压配电系统的配电自动化有一定的局限性, 一般建筑设备监控系统用于传统继电保护的中压配电系统中, 仅实现配电系统监控、测量等局部配电自动化功能, 不承担继电保护及自动装置等功能。若从管理的需要出发, 需了解 35kV、10kV 配变电所的运行资料, 也可把 35kV、10kV 配变电所的配电自动化系统与 BAS 相对独立, BAS 系统可根据批准的权限通过通信网络收集 35kV、10kV 配变电所的信息。

### 7.2.2 建筑设备监控系统(BAS)

建筑设备监控系统(BAS) 一般由管理网络层(中央管理工作站)、站控网络层(分站)、现场设备网络层构成。由中央管理工作站、分站、现场设备网络层组成分层分布式集散系统。

(1) 中央管理工作站由操作站、服务器及网络系统组成

1) 服务器为操作站提供数据库访问, 并能采集控制器、微控制器、传感器、执行器和用电设备数据, 采集过程历史数据提供服务器配置数据, 存储用户定义数据的应用信息结构, 生成报警和事件记录、趋势图、报表, 提供系统信息状态。

2) 操作站由 PC 机、打印机组成, 监控系统的运行参数, 检测可控的子系统对控制命令的响应情况, 显示和记录各种测量数据、运行状态、故障报警等信息、数据报表和

打印。

3) 管理网具有因特网联网能力, 提供因特网用户接口技术。

(2) 分站由通信总线和控制器组成

1) 控制器采用 DDC 直接数字控制器、PLC 可编程逻辑控制器或兼有 DDC、PLC 特性的 HC (Hybrid Controller) 混合式控制器。

控制器设有通信总线的通信接口, 使控制器能与通信总线连接和与其他控制器通信, 使控制器与现场网络通信总线连接并与现场设备通信, 设 RS232 接口与 PC 机在现场连接完成数据和程序的上传/下载及进行系统配置和调试。

2) 现场网络层由通信总线连接微控制器、智能现场输入输出模块和智能现场仪表(智能传感器、智能电量变送器、智能照度变送器、智能执行器、智能阀门、智能风阀、智能变频器)或现场仪表组成。

3) 微控制器能独立于分站、中央管理工作站对末端设备完成全部控制应用操作。嵌入计算机硬件和软件的网络化现场设备的分布式输入输出模块是微控制器的组成部分, 模块能通过通信总线与微控制器的计算机模块连接; 智能现场仪表是嵌入计算机硬件和软件的网络化现场设备, 能通过通信总线与控制器、微控制器进行通信, 微控制器、智能现场输入输出模块、智能现场仪表为点对点直接数据通信。中压配变电系统的监控可在建筑设备监控系统(BAS) 现场网络层现场设置变配电微控制器及智能电气表计, 变配电设备应用操作; 显示开关、分状态、故障跳闸报警; 采集中压配变电系统进线及联络回路的电流、有功功率、无功功率、有功电度、无功电度信息; 馈出回路的电流、有功电度信息; 母线分段回路的电流信息; 电压互感器的电压信息; 配电变压器高低压侧的电流信息; 电容器补偿的电流、无功电度等信息。

4) BAS 系统现场网络可通过网络接口与管理网络层连接, 也可通过网络管理层服务器的通信接口或内置通信网卡直接与服务器连接, 实现变配电微控制器及智能电气表计与中央管理工作站进行通信, 当变配电微控制器的通信接口与管理层处于同一通信级别时, 可采用集线器连接, 与中央管理工作站进行通信。

35kV、10kV 变电所配电自动化系统附设在建筑设备监控系统(BAS) 中组成结构, 如图 4.5-1 所示。

### 7.3 中压成套柜设数字式多功能继电器、数字式保护装置的配电自动化系统组成结构

数字式多功能继电器是同时可以完成控制和监视功能的数字式保护继电器。数字式保护装置(digital protection equipment)是由一个或多个保护继电器和/或逻辑元件结合在一起利用数字电路把电力系统的电量(或参数)由模拟量转换为数字量, 以进行运算和逻辑判别的用来规定完成某项预定保护功能的设备。

建筑电气工程中压配电系统的继电保护设计, 一般按国家标准《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB 50062) 的规定执行。国家标准 GB 50062 要求电力变压器绕组及其引出线的相间短路和在中性点直接接地侧的单相接地短路、绕组的匝间短路、外部相间短路引起的过电流、中性点直接接地电力网中外部接地短路引起的过电流及中性点过电压、过负荷、变压器温度升高或冷却系统故障、油浸变压器油面降低、油浸变压器油箱压力升高等故障及异常运行方式应装设相应的保护装置; 中性点非直接接地电力网中线路

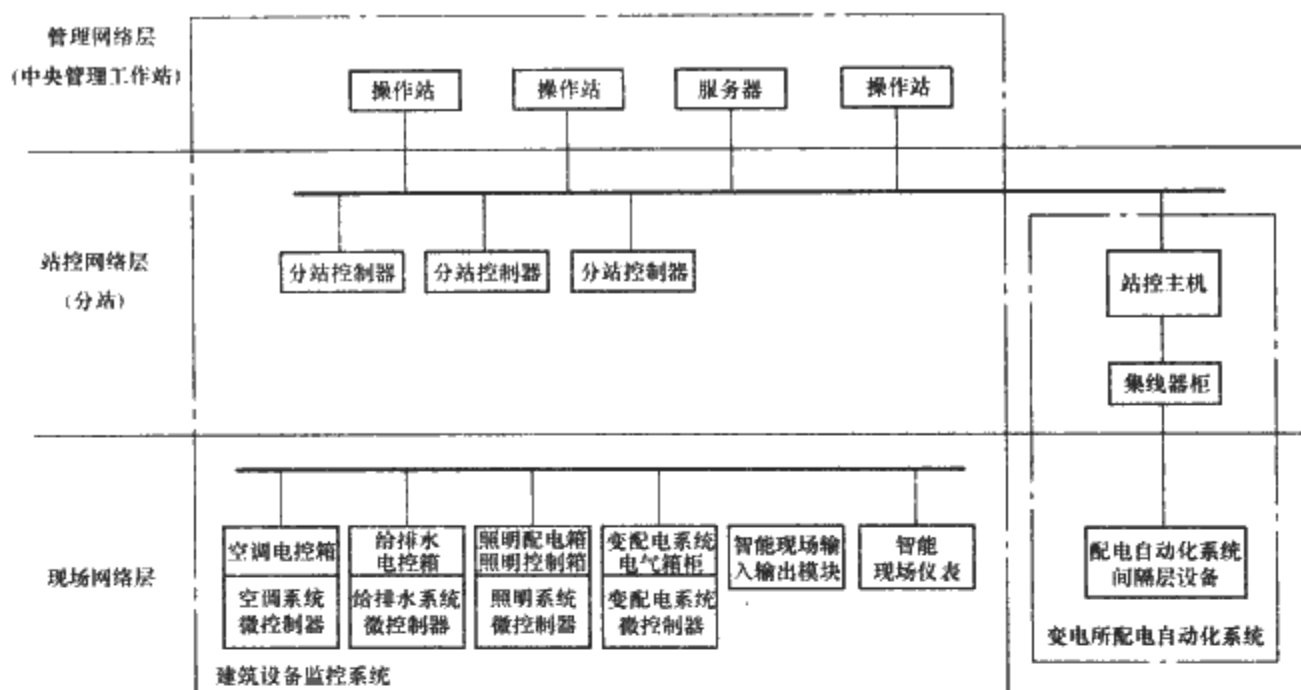


图 4.5-1 BAS 中变电所配电自动化系统组成结构

相间短路、单相接地、过负荷等故障及异常运行应装设相应的保护装置；对于主要配变电所 10kV 母线应当快速而有选择地切除一段母线上的故障才能保证电力网安全运行和重要负荷的可靠供电时，35kV 母线根据系统稳定要求或为保证重要用户最低允许电压要求需要快速地切除母线上的故障时应装设专用母线保护；对 10kV 并联补偿电容器组电容器内部故障及引出线短路、电容器组和断路器之间连接线短路、电容器组中某一故障电容器切除后所引起的过电压、电容器组的单相接地、电容器组过电压、所连接的母线失电压等故障及异常运行方式应装设相应的保护装置；高压异步电动机的定子绕组相间短路、定子绕组单相接地、定子绕组过负荷、定子绕组低电压等故障及异常运行方式应装设相应的保护装置；在 10kV、35kV 架空线路和电缆与架空的混合线路中，用电设备允许且无备用电源自动投入时或旁路断路器和兼作旁路的母联或分段断路器时，应装设自动重合闸装置；由双电源供电的配变电所其中一个电源经常断开作为备用、配变电所内有互为备用的母线段、变电所内有备用变压器、变电所内有两台所用变压器、生产过程中某些重要机组有备用机组等可装设备用设备的自动投入装置。鉴于继电保护的需、设计的需、中外供货厂商开发出用于差动保护、后备保护、线路保护、配电变压器保护、电动机保护、电容器保护、重合闸、备用电源自投装置、测控等数字式继电器类、数字式保护装置类的产品。

数字式继电器分为单一的保护功能数字式继电器和集成了保护、测量、控制、监测、通信功能于一体的综合数字式继电器。它们有单独的箱体，安装在中压成套柜上实现对各类电器设备及线路的主保护或后备保护。在建筑电气工程中压配电系统中，单一的保护功能数字式继电器用的很少，随着计算机技术的发展目前主要用综合数字式继电器。不同的综合数字式继电器，其功能也不同。

中压成套柜设数字式多功能继电器、数字式保护装置的配电自动化系统组成结构，以 35/10(6)kV 变电所工程一般配置为例进行说明。

### 7.3.1 继电保护配置和备用电源自动投入装置

#### (1) 输电线路（馈电柜）

输电线路的继电保护配置一般为：过电流保护；保证切除所有使母线残压低于 50%~60% 额定电压的短路需设置

的无时限电流速断保护；当无时限电流速断保护不能满足保护选择性动作要求时装设的带时限速断保护；当过电流保护的时限不大于 0.5~0.7s 且没有保护配合上的要求时可不装设电流速断保护；根据需要装设单相接地保护。

#### (2) 电力变压器

电力变压器的继电保护配置一般为：当带时限的过电流保护（不能满足灵敏性要求时设低电压闭锁的带时限的过电流保护）；电流速断保护；变压器容量为 2000~5000kVA，当电流速断保护不能满足灵敏性要求时设纵联差动保护；10(6)kV/0.4kV 变压器容量为 400~1600kVA 当利用高压侧过电流保护及低压侧出线断路器保护不能满足灵敏性要求时，设变压器低压侧单相接地保护；作为备用电源的变压器根据过负荷的可能性或并联运行的变压器装设过负荷保护；油浸变压器容量大于或等于 800kVA 装设瓦斯保护（但密闭油浸变压器装设压力保护）；油浸变压器容量大于或等于 1000kVA，装设温度保护，干式变压器整个容量系列均装设温度保护。数字式多功能继电器能满足继电保护配置要求，但对于需设纵联差动保护的变压器其继电保护由变压器差动保护数字式多功能继电器和主变压器后备保护数字式多功能继电器共同来完成。

35kV、10kV 所用电成套柜中的所用电变压器的容量一般为 50kVA 或 30kVA，变压器高压侧采用熔断器作保护。对于分段单母线接线，且每段都设所电柜，变压器低压侧一般设双电源切换装置。

#### (3) 6~35kV 分段断路器柜

母线分段及分段断路器的继电保护配置一般为：6~35kV 母线分段断路器装设过电流保护及仅在断路器合闸瞬间起保护作用的电流速断保护，电流速断保护在合闸后自动解除。当母线未装设母线保护时装设电流速断保护和过电流保护。过电流保护采用反时限过电流保护时，电流继电器应解除瞬动部分。

向二、三级负荷供电的变电所当馈出线路不多时，可不设保护装置。

#### (4) 6~10kV 并联电力电容器柜

并联电力电容器的继电保护配置一般为：带有短延时的速断保护；过电流保护；横差保护、中性线不平衡电流保护、开口三角电压保护（当电容器内部故障及其引出线短路

采用专用的熔断器时可不装设);宜装设过负荷保护;当电压可能超过110%额定电压值时宜装设过电压保护;宜装设低电压保护;单相接地保护(当电容器与支架绝缘时可不设接地保护)。

#### (5) 3~10kV 异步电动机柜

3~10kV 异步电动机的继电保护配置一般为:电流速断保护(当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设纵联差动保护);运行中易发生过负荷时,或起动、自起动条件严重时装设过负荷保护;单相接地电流大于或等于5A时装设单相接地保护(大于或等于10A时一般动作于跳闸,5~10A时可动作于跳闸或信号);根据需要装设低电压保护。

#### (6) 进线断路器柜

进线断路器的保护是作为35/10(6)kV变电所35kV母线、6~10kV母线的母线保护,及馈电断路器的远后备保护。

进线断路器的继电保护配置一般为电流速断保护或带时限的电流速断保护(当电流速断保护不能满足灵敏性要求时可采用电流闭锁电压速断保护);过电流保护。

#### (7) 备用电源自动投入装置

建筑电气工程中35kV双电源或双回路供电的35/10kV变电所及10kV配电所的35kV配电系统和10kV配电系统一般采用分段单母线接线。国家标准《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB 50062—1992)规定“变电所和配电所内有互为备用的母线段”;“可装设备用电源或备用设备的自动投入装置”,并规定“自动投入装置”应符合“保证备用电源在电压、工作回路断开后才投入备用回路。”;“工作回路上的电压,不论因何原因消失时,自动投入装置均应延时动作。”;“手动断开工作回路时,不起动自动投入装置。”;“保证自动投入装置只动作一次。”;“备用电源自动投入装置动作后,如投到故障上,必要时,应使保护加速动作。”;“备用电源自动投入装置中,可设置工作电源的电流闭锁回路。”,还要求“0.4MVA及以上变压器,当数台并列运行或单独运行并作为其他负荷的备用电源时,应根据可能过负荷的情况装设过负荷保护”。保护各自投的综合数字式继电器(备用电源自动投入装置)满足国家标准规定的要求。保护各自投的综合数字式继电器(备用电源自动投入装置)需引入两段母线电压,用于进行有压、无压判别及起动备用电源自动装置,每个进线断路器各引入任一相电流,是为了防止电压互感器全相断线后造成各自投装置误投及更好的确认进线断路器已分断,也利用该相电流判别是否超过过负荷整定值需要自投后实现联切负荷的功能;保护各自投的综合数字式继电器(备用电源自动投入装置)引入进线单路线电压或任意相别的相电压是为了在进线断路器互投时判别备用电源进线电压是否正常;保护各自投的综合数字式继电器(备用电源自动投入装置)引入进线断路器、分段断路器闭合、分断的位置状态,作为判别选择进线互投方式还是分段断路器自投方式的系统运行方式。

#### 7.3.2 中压成套柜设数字式多功能继电器的馈线间隔

35kV及以下电压等级的输电线路的综合数字式继电器一般其保护配置有可带方向和低电压闭锁的三段电流保护、可选择检同期或检无压的三相二次重合闸、过电流前加速或过电流后加速的加速段保护。其设有充电相过流和充电零序电流保护、两段零序电流保护、过负荷保护、低频减载、不接地系统或经消弧线圈接地系统的小电流单相接地保护并综合数字式继电器具有自诊断功能,适用于35kV及以下电压

等级的馈线柜的保护和监控。

数字式多功能继电器配置有LCD液晶显示器,LCD液晶显示器可通过调节LCD背光亮度使屏幕清晰可见。LCD可以显示一次系统概略图,该概略图显示出固定柜的隔离开关、接地刀闸、断路器的状态,并可随相应开关量的变化而指示分、合状态,手车柜的手车在工作位置接通或手车在试验位置接通时显示其一次系统概略图显示出电压互感器、电流互感器的变比和保护压板状态。在保护投退拨动开关投上时,相应的保护呈闭合状态,反之为断开状态,一般速断、限时速断、过电流、重合闸用硬压板投退,零序过电流、低频减载、电压互感器断线告警、接地故障告警通过软压板投退;可显示零序过电流告警、低频减载告警、电压互感器断线告警、母线接地故障告警、控制回路断线告警;显示数字式多功能继电器、LED、系统自检结果;显示年、月、日、时、分、秒;显示记录断路器、隔离开关、接地刀闸的状态变化;记录速断、限时速断、过电流、重合闸等保护功能的投退时间、保护动作时的故障值;显示本地/遥控切换记录;定值修改记录;可显示相电流、线电流、线电压、相电压、零序电压、零序电流等实时波形图,实时显示的波形内容可切换;能显示记录故障前、故障中故障后的电压、电流、断路器状态的波形供事故分析时用;相电压、线电压、零序电压、相电流、零序电流、频率、有功功率、无功功率、功率因数等测量数据的显示,线电压、相电压、有功功率、无功功率、频率可直接显示反映一次或二次的测量值,一次/二次的测量值可切换显示,有的还具有脉冲有功电度、脉冲无功电度并记录累加值供运行参考,显示外部开关量的状态、控制回路的状态、面板上投退拨动开关位置以及本地、遥控、设定的三位锁的状态;显示对保护功能的动作值和时限值进行设定和修改;显示通信发送缓冲区或接收缓冲区的内容等。

数字式多功能继电器配置有通信接口。就地PC接口允许快速读写所有的参数和故障数据,一般数字式多功能继电器都配置RS485接口。

显然,将上述适用于35kV及以下电压等级的输电线路的综合数字式继电器集成到35kV、10kV成套开关柜中,是节省投资、加强功能、提高配电自动化水平的好措施,使35kV、10kV成套开关柜具有接通、分断、保护、操作、指示、报警、通信等功能。具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的馈出间隔中广泛应用。

在馈线间隔的35kV、10kV成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器及相电压、线电压、零序电压、相电流、零序电流、频率、有功功率、无功功率、功率因数等数据测量监控的测控综合数字式继电器;使其具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的带变压器及馈电间隔中也有应用。

在馈线间隔的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器。10kV及以上的输配电线路和用电线路的测量设置数显变送智能电流表;显著不平衡负荷6kV、10kV、35kV线路和用电线路装设的数显变送智能负序电流表;35kV的输配电线路和用电线路装设有数显变送智能有功功率表,数显变送智能表能够通过电网电流交流采样,经CPU进行数据处理,由LED(或光



柱)直接显示,同时输出电流值相应的模拟量值,并设有数字接口可与PC机进行数据交换,具有变送、LED显示(或光柱指示)和数字接口等功能,其馈线间隔的6kV、10kV、35kV成套开关柜具备配电自动化的基本特征,在建筑电气工程中压配电系统的馈电间隔中也广泛应用。

在馈线间隔的10kV、35kV成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器,10kV及以上的输配电线路和用电线路的测量电流表;显著不平衡负荷的6kV、10kV、35kV线路和用电线路装设的负序电流表;35kV的输配电线路和用电线路装设有功功率表选用指针式表计或数字式表计,在建筑电气工程中压配电系统的馈电间隔中也广泛应用。

### 7.3.3 中压成套柜设数字式多功能继电器的变压器馈线间隔

6kV、10kV、35kV电压等级的配电变压器馈线间隔的综合数字式继电器一般其保护配置有:速断、定时限过电流、反时限过电流、过负荷、超温度、重瓦斯、零序过电流等保护。有的配电变压器馈线间隔的综合数字式继电器为仅设高定值速断、延时过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的热过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护继电器。适用于变压器馈线柜的保护和监控。

数字式多功能继电器配置的LCD液晶显示器。通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传输配电变压器保护及馈电线路保护的相关信息。

将上述适用于35kV及以下电压等级具备变压器及馈电线路保护功能的综合数字式继电器集成在6kV、10kV、35kV成套开关柜中,其投资小、功能强大、配电自动化的水平高,使带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜具有接通、分断、保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的带变压器及馈电间隔中广泛应用。

在带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有高定值速断、延时过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的热过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器,温度瓦斯等保护采用非电量保护及重动装置及相电压、线电压、零序电压、相电流、零序电流、频率、有功功率、无功功率、功率因数等数据测量监控的测控综合数字式继电器,使带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统中有应用。

在带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有高定值速断、延时过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的热过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器;温度瓦斯等保护采用非电量保护及重动装置;在双绕组配电变压器一侧设置数显变送智能电流表、数显变送智能有功功率表及无功功率表,使带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的带变压器及馈电间隔中广泛应用。

在带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有高定值速断、延时过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的热过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器,温度瓦斯等保护及重动采用常规继电保护设计;35kV成套开关柜中设置在双绕组配电变

压器一侧的测量交流电流表、有功功率表及无功功率表选用数显变送智能表及脉冲有功电能表、脉冲无功电能表;6kV、10kV成套开关柜中设置在双绕组配电变压器一侧的测量交流电流表、脉冲有功电能表、脉冲无功电能表,带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜亦具备有配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的带变压器及馈电间隔中广泛应用。

在带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有高定值速断、延时过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的热过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器;温度瓦斯等保护及重动采用常规继电保护设计;35kV成套开关柜中设置在双绕组配电变压器一侧的测量交流电流表、有功功率表及无功功率表选用指针式表计或数字式表计;6kV、10kV成套开关柜中设置在双绕组配电变压器一侧的测量交流电流表、普通有功电能表及无功电能表,带变压器馈线的6kV、10kV、35kV成套开关柜亦具备有配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的带变压器及馈电间隔中广泛应用。

### 7.3.4 中压成套柜设数字式多功能继电器的电动机间隔

3kV、6kV、10kV电压等级的异步电动机保护间隔的综合数字式继电器一般其保护配置有:速断、低电压、过电压、零序过电流、反时限过电流(过负荷)、负序过电流、温度、电压互感器断线告警。适用于高压异步电动机柜的保护和监控。

数字式多功能继电器配置有LCD液晶显示器、通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传输电动机保护的相关信息。

将上述适用于高压电动机的综合数字式继电器集成到3kV、6kV、10kV成套开关柜中,投资小、功能强大、配电自动化的水平高,使3kV、6kV、10kV成套开关柜具有高压异步电动机保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的电动机间隔中应用。

在3kV、6kV、10kV成套开关柜中设置具有短路保护、热过负荷保护、负序过电流、不平衡负载保护、转子堵转保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器及具有变送、LED显示(或光柱指示)和数字接口等功能的数显变送智能电流表,需要技术经济考核的高压电动机设置脉冲有功电能表,使3kV、6kV、10kV成套柜集高压异步电动机保护、操作、指示、报警、通信等功能于一身,具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的高压异步电动机间隔中广泛应用。

在3kV、6kV、10kV成套开关柜中设置具有短路保护、热过负荷保护、负序过电流、不平衡负载保护、转子堵转保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器及指针式或数显电流表,需要技术经济考核的高压电动机设置普通有功电能表,在建筑电气工程中压配电系统的3kV、6kV、10kV高压异步电动机间隔中也广泛应用。

### 7.3.5 中压成套柜设数字式多功能继电器的电容器间隔

6kV、10kV电压等级的电容器保护间隔的综合数字式继电器一般其保护功能有速断、过电流、低电压、过电压、零序电流、零序电压、电压互感器断线告警、接地故障告警、控制回路断线告警,它适用于电容器断路器柜的保护和监控。

数字式多功能继电器配置有LCD液晶显示器,通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传

输高压电容器保护的相关信息。

显然,将上述适用于高压电容器间隔的综合数字式继电器集成到 6kV、10kV 成套开关柜中,投资小、功能强大、配电自动化的水平高,使 6kV、10kV 成套开关柜具有高压电容补偿的保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的电容补偿馈线间隔中应用。

### 7.3.6 中压成套柜设数字式多功能继电器的进线间隔

6kV、10kV、35kV 电压等级的进线间隔的综合数字式继电器一般其保护功能有:速断、限时速断、过电流、低电压、零序电流、电流闭锁低电压、电压互感器断线告警、母线接地故障告警、控制回路断线告警。适用于进线断路器柜的保护和监控。

数字式多功能继电器配置有 LCD 液晶显示器、通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传输电源接入的保护的相关信息。

将上述适用于进线间隔的综合数字式继电器集成到 6kV、10kV、35kV 成套开关柜中,投资小、功能强大、配电自动化的水平高,使 6kV、10kV、35kV 成套开关柜具有进线的保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的进线间隔中应用。

在进线间隔的 6kV、10kV、35kV 成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器;进线的测量设置具有可编程测量、显示、数字通信和电能脉冲变送输出等功能的多功能智能电表,能够完成电流测量、电压测量、电量测量、电能计量、数据采集、显示及传输,经 CPU 进行数据处理,各电量参数自动或通过切换由 LED 直接显示,同时电能脉冲输出,并设有数字接口可与 PC 机进行数据交换,其进线间隔的 6kV、10kV、35kV 成套开关柜具备配电自动化的基本特征,在建筑电气工程中压配电系统的进线间隔中也应用。

在进线间隔的 6kV、10kV、35kV 成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器,设置数显变送智能电表、脉冲有功电能表及脉冲无功电能表,在建筑电气工程中压配电系统的进线间隔中广泛应用。

在进线间隔的 6kV、10kV、35kV 成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器,设置常规测量电流表、有功电能表及无功电能表,在建筑电气工程中压配电系统的进线间隔中也广泛应用。

### 7.3.7 中压成套柜设数字式多功能继电器的进线备自投间隔

建筑电气工程中 35kV 双电源或双回路供电的 35/10kV 变电所及 10kV 配电所的 35kV 配电系统和 10kV 配电系统一般采用分段单母线接线。国家标准《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB 50062—1992)规定“变电所和配电所内有互为备用的母线段”“可装设备用电源或备用设备的自动投入装置”,并规定“自动投入装置”应符合“保证备用电源在电压、工作回路断开后才投入备用回路。”“工作回路上的电压,不论因何原因消失时,自动投入装置

均应延时动作。”“手动断开工作回路时,不起动自动投入装置。”“保证自动投入装置只动作一次。”“备用电源自动投入装置动作后,如投到故障上,必要时,应使保护加速动作。”“备用电源自动投入装置中,可设置工作电源的电流闭锁回路。”,还要求“0.4MVA 及以上变压器,当数台并列运行或单独运行并作为其他负荷的备用电源时,应根据可能过负荷的情况装设过负荷保护”。应由进线间隔完成备用自投,是否设置备用自投由设计决定。

保护备用自投的综合数字式继电器(备用电源自动投入装置)满足国家标准规定的要求。保护备用自投的综合数字式继电器(备用电源自动投入装置)引入了两段母线电压,用于进行有压、无压判别及起动备用电源自动装置,每个进线断路器各引入任一相电流,是为了防止电压互感器全相断线后造成备用自投装置误投及更好的确认进线断路器已分断,也可利用该相电流判别是否超过过负荷整定值需要自投后实现联切负荷的功能;保护备用自投的综合数字式继电器(备用电源自动投入装置)引入进线单路线电压或任意相别的相电压是为了在进线断路器互投时判别备用电源进线电压是否正常;保护备用自投的综合数字式继电器(备用电源自动投入装置)引入进线断路器、分段断路器闭合、分断的位置状态,作为判别选择进线互投方式还是分段断路器自投方式的系统运行方式。

6kV、10kV、35kV 电压等级的进线间隔保护备用自投的综合数字式继电器一般其保护功能有速断、限时速断、过电流、进线备用自投、控制回路断线告警,它适用于需有备用自投功能的进线断路器柜的保护和监控。

数字式多功能继电器配置有 LCD 液晶显示器、通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传输设有备用电源自动装置的电源进线间隔的保护的相关信息。

将上述适用于进线备用自投间隔的综合数字式继电器集成到 6kV、10kV、35kV 成套开关柜中,投资小、功能强大、配电自动化的水平高,使 6kV、10kV、35kV 成套开关柜具有进线及备用自投的保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的进线备用自投间隔中应用。

在进线间隔的 6kV、10kV、35kV 成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器及在母分间隔设置有备用电源自动投入装置;进线的测量设置具有可编程测量、显示、数字通信和电能脉冲变送输出等功能的多功能智能电表,能够完成电流测量、电压测量、电量测量、电能计量、数据采集、显示及传输,经 CPU 进行数据处理,各电量参数自动或通过切换由 LED 直接显示,同时电能脉冲输出,并设有数字接口可与 PC 机进行数据交换,其进线间隔的 6kV、10kV、35kV 成套开关柜具备配电自动化的基本特征,在建筑电气工程中压配电系统的进线备用自投间隔中也应用。

在进线间隔的 6kV、10kV、35kV 成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器及在母分间隔设置有备用电源自动投入装置,设置数显变送智能电表、脉冲有功电能表及脉冲无功电能表,在建筑电气工程中压配电系统的进线备用自投间隔中广泛应用。



在进线间隔的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器及在母分间隔设置具有备用电源自动投入装置,设置常规测量电流表、有功电能表及无功电能表,在建筑电气工程中压配电系统的进线备自投间隔中也广泛应用。

在进线间隔的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有瞬时跳闸、定时限过电流保护、反时限过电流保护、计入前负荷或不计入前负荷的过负荷保护、负相序过电流保护的过电流和过负荷保护的数字式继电器,备用电源自动投入装置采用常规继电保护设计,设置常规测量电流表、有功电能表及无功电能表,在建筑电气工程中压配电系统的进线备自投间隔中也广泛应用。

### 7.3.8 中压成套柜设数字式多功能继电器的母分间隔

进线间隔与母分间隔配合,可完成自投。

6kV、10kV、35kV电压等级的分段断路器间隔保护的数字式继电器一般其保护功能有:合闸速断或低电压闭锁速断、限时速断、过电流、控制回路断线告警。适用于分段断路器柜的保护和监控。

数字式多功能继电器配置有LCD液晶显示器、通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传输母线分段开关间隔的保护的相关信息。

将上述适用于母分间隔的综合数字式继电器集成到6kV、10kV、35kV成套开关柜中,投资小、功能强大、配电自动化的水平高,使6kV、10kV、35kV成套开关柜具有母分的保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的母分间隔中应用。

在母分间隔的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有母线保护的数字式继电器,设置数显变送智能电流表,在建筑电气工程中压配电系统的母分间隔中广泛应用。

在母分间隔的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有母线保护的数字式继电器,设置常规测量电流表,在建筑电气工程中压配电系统的进线间隔中也广泛应用。

### 7.3.9 中压成套柜设数字式多功能继电器的母分备自投间隔

母分备自投间隔与进线备自投间隔构成备自投。

6kV、10kV、35kV电压等级的母分备自投间隔保护的数字式继电器一般其保护配置有:合闸速断或低电压闭锁速断、限时速断、过电流、备自投保护投退、合闸速断开放时间、低电压闭锁速断、控制回路断线告警。适用于需有备自投功能的母联断路器柜的保护和监控。

数字式多功能继电器配置有LCD液晶显示器、通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传输设有备用电源自动装置的母线分段开关间隔的保护的相关信息。

将上述适用于母分备自投间隔的综合数字式继电器集成到6kV、10kV、35kV成套开关柜中,投资小、功能强大、配电自动化的水平高;使6kV、10kV、35kV成套开关柜具有母分备自投的保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的母分备自投间隔中应用。

在母分备自投间隔的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有合闸于短路时的保护、母线保护功能的多功能保护继电器及备用电源自动投入装置,多功能保护继电器具有测量电流、电压和频率等,备用电源自动投入装置具有两段母

线电压、两段进线电流和电压,母线多功能保护继电器及备用电源自动投入装置均具有自诊断功能、定值修改记录、故障录波及故障记录功能、通信功能等,在建筑电气工程中压配电系统的母分备自投间隔中广泛应用。

在母分备自投间隔的6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置具有合闸于短路时的保护、母线保护功能的多功能保护继电器,备用电源自动投入装置采用常规继电保护设计,设置常规测量电流表,多功能保护继电器具有测量电流、电压、频率等,并具有自诊断功能、定值修改记录、故障录波及故障记录功能、通信功能等,在建筑电气工程中压配电系统的母分备自投间隔中也广泛应用。

### 7.3.10 中压成套柜设数字式多功能继电器的电压互感器监控间隔

6kV、10kV、35kV电压等级的电压互感器间隔保护的数字式继电器一般其保护配置有:接地告警、电压互感器断线告警、控制回路断线告警。并有电压互感器切换功能。适用于电压互感器柜的保护、控制和电压监测。

数字式多功能继电器配置有LCD液晶显示器、通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传输电压互感器间隔的保护的相关信息。

将上述适用于电压互感器间隔的综合数字式继电器集成到6kV、10kV、35kV成套开关柜中,投资小、功能强大、配电自动化水平高。使6kV、10kV、35kV成套开关柜具有进线的保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的电压互感器间隔中应用。

### 7.3.11 中压成套柜设数字式多功能继电器的变压器差动间隔

6kV、10kV、35kV电压等级的配电变压器需差动保护的间隔的差动保护综合数字式继电器一般其保护功能有:差动速断短路保护、差动选择性短路保护、有载瓦斯、本体瓦斯等保护。6kV、10kV、35kV电压等级的配电变压器需差动保护的间隔的后备保护综合数字式继电器一般其保护功能有复合电压闭锁或无复合电压闭锁及方向或无方向三段过电流保护、过负荷保护、温度保护、瓦斯保护、电压互感器断线告警等,适用于6kV、10kV、35kV电压等级的配电变压器短路不需设差动保护的配电变压器馈线柜作配电变压器的主保护、后备保护和监控。

差动保护综合数字式多功能继电器配置的LCD液晶显示器,可显示的一次系统概略图直接显示变压器一次和二次电流二次测量值,当判断有涌流产生时显示“涌流闭锁”,差动保护不动作;可显示变压器一次和二次电流的二次值、一次平衡电流、差动电流、制动电流、二次谐波电流、一次零序电流、二次零序电流等测量数据;可显示变压器一次和二次电流的实时波形图。

数字式继电器LCD显示、通信接口功能与馈线间隔数字式多功能继电器类同,能够显示、传输的变压器采用差动保护保护做主保护及后备保护的相关信息。

显然,将上述适用于35kV及以下电压等级具备配电变压器的差动保护和后备保护的数字式继电器集成到6kV、10kV、35kV成套开关柜中,用于需差动保护的配电变压器,其投资小、功能强大、配电自动化水平高,具有接通、分断、保护、操作、指示、报警、通信等功能;具备配电自动化的特征,在建筑电气工程中压配电系统的需差动保护的变压器馈电间隔中广泛应用。

在6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置差动保护数字

式继电器作主保护；过电流和过载保护的综数字式继电器作后备保护；温度瓦斯等保护采用非电量保护及重动装置及相电压、线电压、零序电压、相电流、零序电流、频率、有功功率、无功功率、功率因数等数据测量监控的测控综合数字式继电器，使需差动保护的配电变压器的6kV、10kV、35kV成套开关柜具备配电自动化的特征，在建筑电气工程中压配电系统中有应用。

在6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置差动保护数字式继电器作主保护；过电流和过负荷保护的综数字式继电器作后备保护；温度瓦斯等保护采用非电量保护及重动装置；在双绕组配电变压器一侧设置数显变送智能电流表、数显变送智能有功功率表及无功功率表，使需差动保护的配电变压器的6kV、10kV、35kV成套开关柜具备配电自动化的特征，在建筑电气工程中压配电系统的带变压器及馈电间隔中广泛应用。

在6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置差动保护数字式继电器作主保护；过电流和过负荷保护的综数字式继电器作后备保护；温度瓦斯等保护及重动采用常规继电保护设计；35kV成套开关柜中设置在双绕组配电变压器一侧的测量交流电流表、有功功率表及无功功率表选用数显变送智能

表及脉冲有功电能表、脉冲无功电能表；6kV、10kV成套开关柜中设置在双绕组配电变压器一侧的测量交流电流表、脉冲有功电能表、脉冲无功电能表，使需差动保护的配电变压器的6kV、10kV、35kV成套开关柜亦具备有配电自动化的特征，在建筑电气工程中压配电系统的配电变压器间隔中广泛应用。

在6kV、10kV、35kV成套开关柜中设置差动保护数字式继电器作主保护；过电流和过负荷保护的综数字式继电器作后备保护；温度瓦斯等保护及重动采用常规继电保护设计；35kV成套开关柜中设置在双绕组配电变压器一侧的测量交流电流表、有功功率表及无功功率表选用指针式表计或数字式表计；6kV、10kV成套开关柜中设置在双绕组配电变压器一侧的测量交流电流表、普通有功电能表及无功电能表，使需差动保护的配电变压器的6kV、10kV、35kV成套开关柜亦具备有配电自动化的特征，在建筑电气工程中压配电系统的带变压器及馈电间隔中广泛应用。

### 7.3.12 装设数字式多功能继电器的10kV馈电柜二次电路图示例

10kV馈电柜二次电路，如图4.5-2所示。

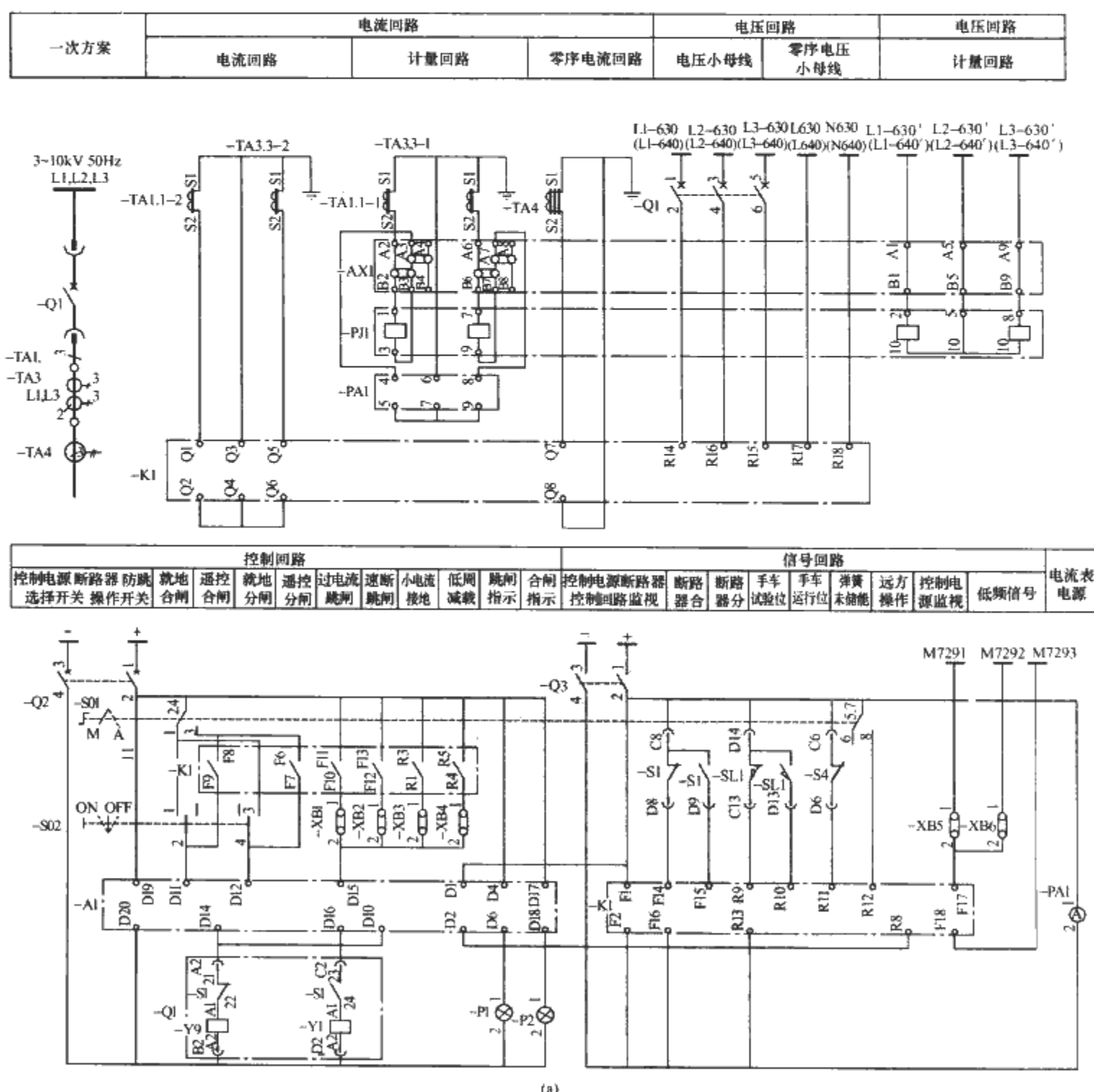


图 4.5-2 10kV 馈电柜二次电路图（一）

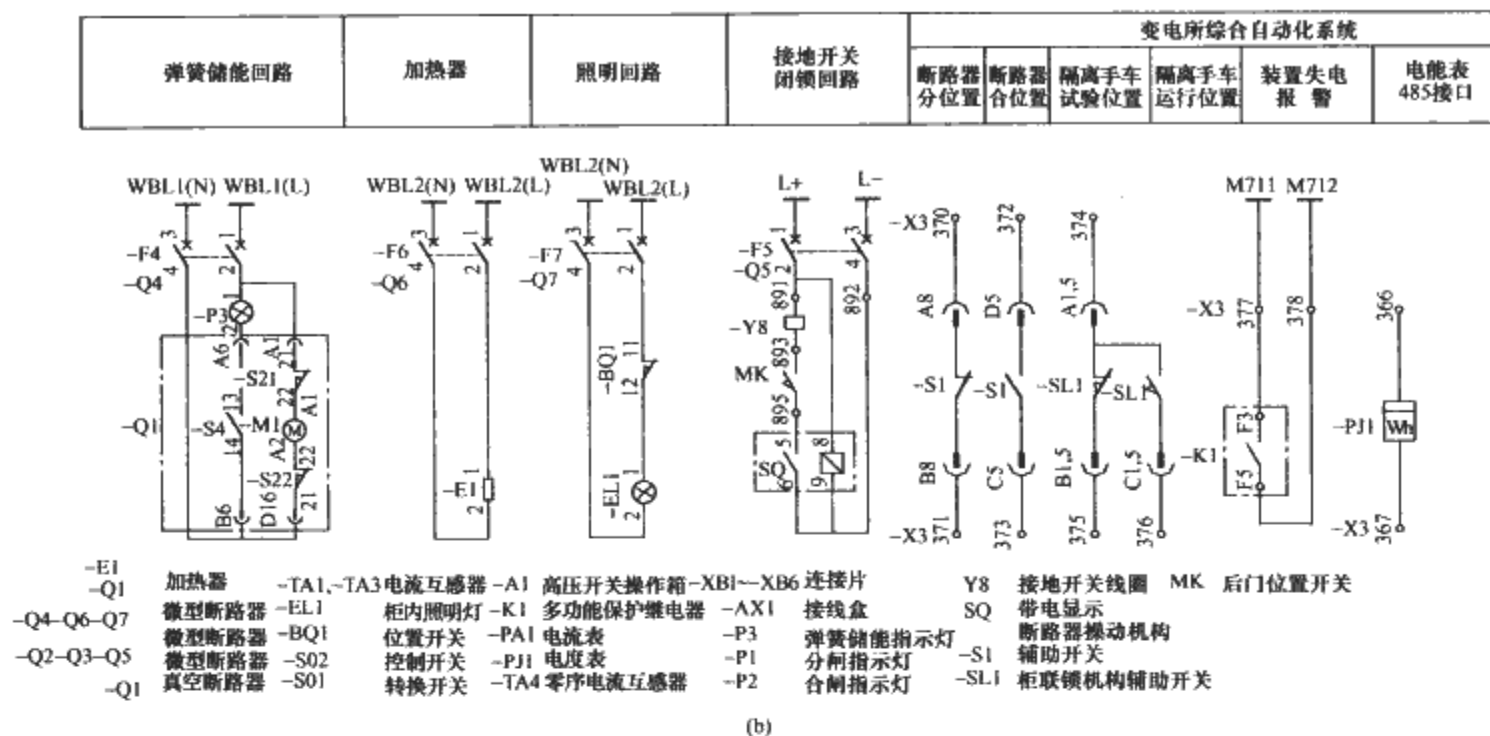


图 4.5-2 10kV 馈电柜二次电路图 (二)

#### 7.4 集中式配电自动化系统

集中式配电自动化系统指采用不同档次的计算机, 扩展其外围接口电路, 集中采集变电站的模拟量、开关量和数字量等信息, 集中进行计算处理, 分别完成数字监控、数字保护及自动控制等功能的配电自动化系统。其组成如图 4.5-3 所示。

集中式配电自动化系统一般数字监控、数字保护、调度等通信功能由不同的数字完成，监控计算机负责数据采集、数据处理、人机联系等功能，有的监控计算机也负担开关操作等控制功能，保护计算机根据其 I/O 点数负责多个馈出回路、变电设备、用电设备的保护等，通信主机承担电调及通信等功能。

### 某工程 35/10kV 变电所集中式配电自动化系统示例

### (1) 保护

1) 35kV 电源系统。

保护对象：2 回 35kV 电源进线、2 回 35kV 主变压器馈出间隔、2 回 35kV 馈出间隔、35kV 母线分段间隔。

保护方式：电流速断、定时限过电流，分段保护增设失电压保护并综合有备自投功能。

异常工况报警：变压器过负荷延时报警、超温报警、瓦斯报警。

自动控制功能: 35kV 母线分段带备自投功能、自投条

件为非电流动作，且一侧失电压动作，另一侧有压延时合分段断路器，备自投成后手动复归。

### 2) 10kV 配电系统。

保护对象: 11 回配电变压器间隔、3 回高压电机馈电间隔、10kV 母线分段。

保护方式：配电变压器电流速断、定时限过电流，分段保护电流速断、定时限过电流，高压电动机电流速断、反时限过电流。

自动控制功能：10kV 母线分段带备自投功能、自投条件为非电流动作，且一侧失电压动作，另一侧有电压延时合分段断路器，备自投成后手动复归。

保护点汇总见表 4.5-2。

表 4.5-2 保护点汇总表

名 称	35kV 电源系统			10kV 配电系统		
保护对象	电源进线	分段开关	馈出变 压器	配电变 压器	高压电 动机	分段 开关
保护方式	速断 过电流	速断 过电流	速断 过电流	速断 过电流	速断反 时限	速断 过电流
数 量	2	1	4	11	3	1

## (2) 测控 (监控)

1) 35kV 电源系统。

模拟量：进线电流  $2 \times 2$  (L1、L3 相)，馈出线路电流  $4 \times 2$  (L1、L3 相)，分段柜电流  $1 \times 2$  (L1、L3 相)，两段母

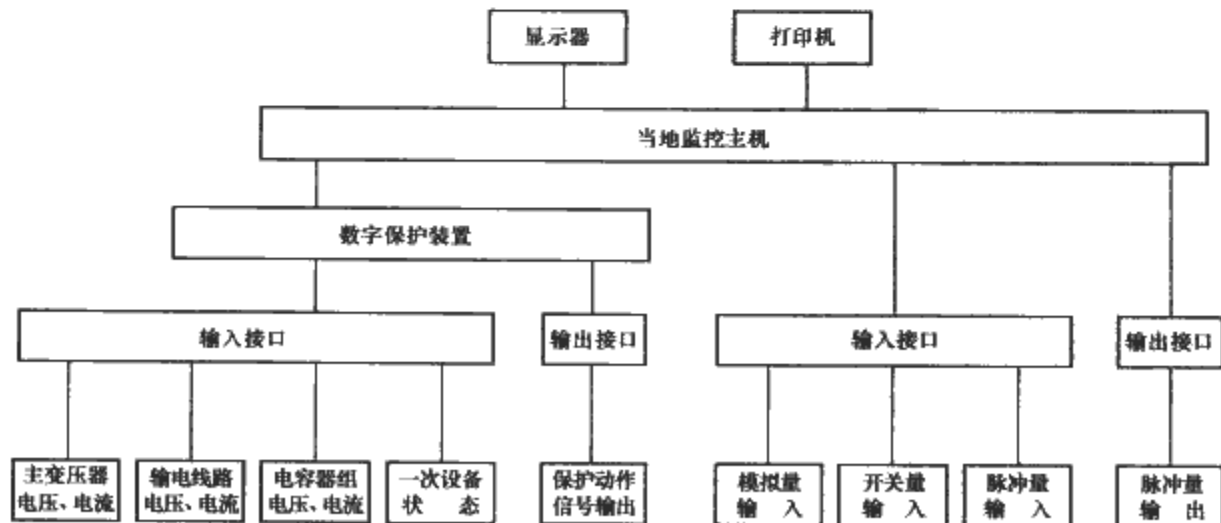


图 4.5-3 集中式配电自动化系统组成框图



## 7.5 分层分布式结构集中式组屏的配电自动化系统

变电站配电自动化系统分层式结构指将变电站信息的采集和控制分为管理层、站控层和间隔层3个层,分层布置。

变电站配电自动化系统结构上采用主从CPU协同工作方式,各功能模块(通常是各个从CPU)之间采用网络技术或串行方式实现数据通信,称为分布式结构。

按分层、分布式结构组成的配电自动化系统,按其功能组装成多个屏,集中安装在变电站控制室中,称为分层分布式结构集中式组屏的配电自动化系统。

分层分布式结构集中式组屏的配电自动化系统组成框图,如图4.5-5所示。

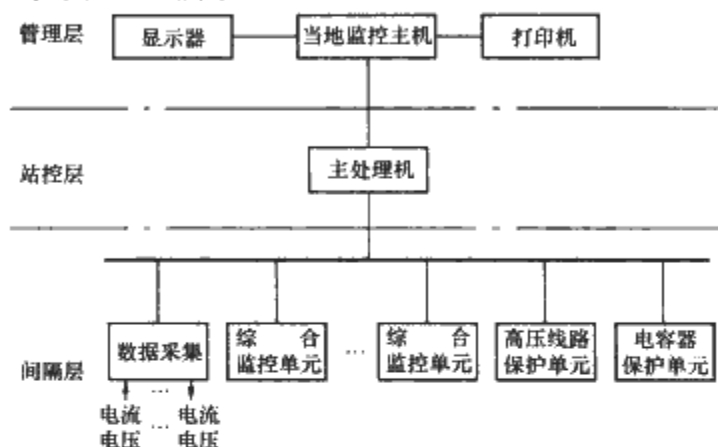


图 4.5-5 分层分布式结构集中式组屏的配电自动化系统组成框图

建筑电气工程中,中压开关柜中一般除开关等一次元件外,还集成了继电保护、表计、操作器及指示器等元件,仅预报告警、事故告警组装成中央信号屏安装在控制室,继电保护、表计、操作及指示部分并不组屏布置在控制室,所以在建筑电气工程中很少采用分层分布式结构集中式组屏的配电自动化系统。

## 7.6 分散分布与集中相结合的综合配电自动化系统

配电自动化系统采用面向电气一次回路或电气间隔的方法进行设计,间隔层中各数据采集、监控单元和保护单元设计在同一机箱内。该机箱就地分散安装在高压成套柜上或其他一次设备附近的分散式结构,使各间隔单元的设备互相独立,仅通过光缆或线缆网络由站控机对设备进行管理,并交换信息的分布式结构,与除安装在间隔高压成套开关柜外的部分在控制室集中组屏或分层组屏相结合的结构称为分散分布与集中相结合的综合配电自动化系统。

分散分布式与集中相结合的综合配电自动化系统的结构框图,如图4.5-6所示。

建筑电气工程中,35/10kV变电所作为用户终端变电所往往在10kV、35kV中压成套柜中集成了继电保护、表计、操作器及指示器等元件,随着配电自动化技术的进步,集数据采集、监控和保护功能于一身的数字式多功能继电器、数字式保护装置大量涌现,10kV、35kV中压成套柜中广泛采用了数字式多功能继电器、数字式保护装置,35kV进线、主变压器、有载调压的保护等一些数字式保护装置,因安装在35kV中压成套柜中不便管理或继电保护小室布置不下,组屏布置在控制室。建筑电气工程中一些35/10kV变电所的配电自动化系统的数字式多功能继电器、数字式保护装置分散在10kV、35kV中压成套柜中。将变电所信息的采集和控制分层布置,部分数字式保护装置组屏,组成分散分布与集中相结合的综合配电自动化系统。

某工程35/10kV变电所分散分布与集中相结合配电自动化系统示例

### (1) 保护

#### 1) 35kV电源系统。

保护对象:2回35kV电源进线、2回35kV主变压器馈出间隔、35kV母线分段间隔。

保护方式:主变压器纵联差动和瓦斯、有载分接开关调压装置瓦斯和温度、主变压器油位等主保护,主变压器35kV侧定时限过电流、过负荷等后备保护,分段装设限时速断、过电流、充电保护,并设备自投装置。

异常工况报警:主变压器过负荷延时报警、高温报警、主变压器及有载分接开关调压装置轻瓦斯报警。

自动控制功能:主变压器有载分接开关的自动调整功能、35kV母线分段设备自投功能。自投条件为非电流动作,且一侧失电压动作,另一侧有电延时合分段断路器,备自投成功后手动复归。

#### 2) 10kV配电系统。

保护对象:12回干式变压器间隔、10kV母线分段、10kV电容器。

保护方式:干式变压器电流速断、定时限过电流、温度保护,分段限时速断、定时限过电流、母分充电保护,电容器差压、限时速断、定时限过电流、过电压、电流闭锁失电压保护。

自动控制功能:10kV电容器的自动投切装置、10kV母线分段带备自投功能。自投条件为非电流动作,且一侧失压动作,另一侧有压延时合分段断路器,备自投成功后手动

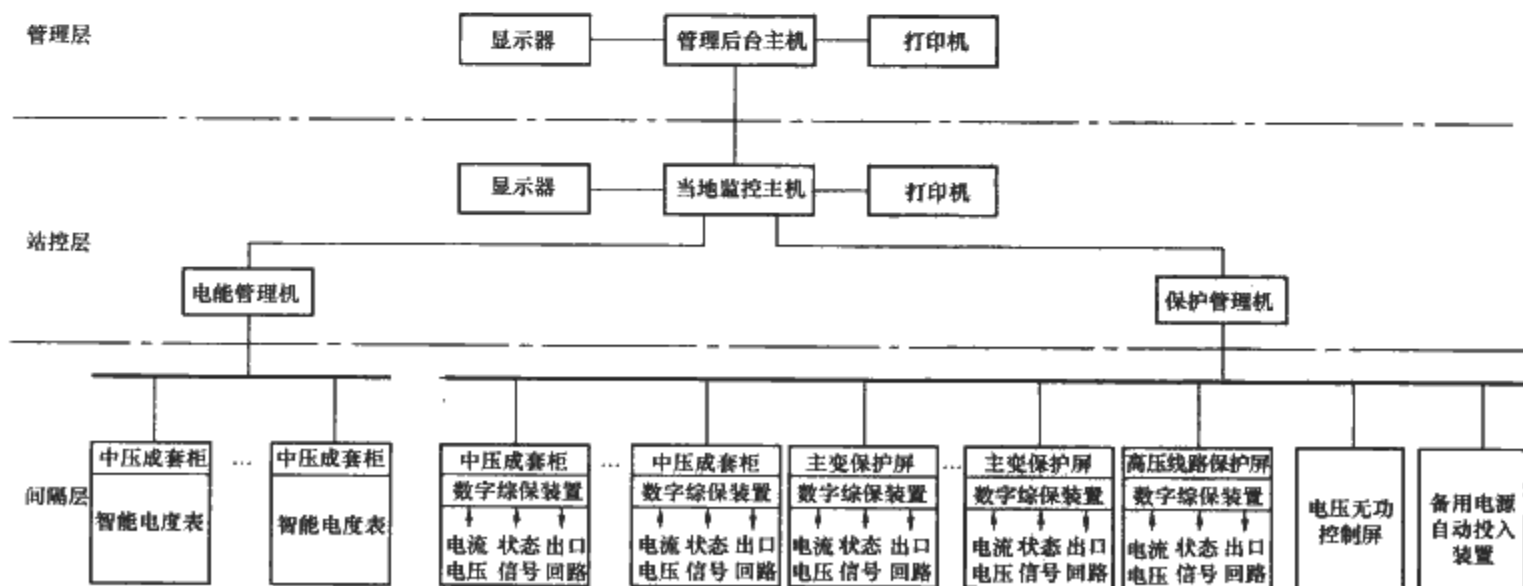


图 4.5-6 分散分布与集中相结合的综合配电自动化系统的结构框图







2) 遥信量。10kV 进线、分段断路器及隔离开关位置；10kV 变压器间隔保护动作信号；10kV 分段保护动作；变压器及分段间隔断路器弹簧未储能；10kV 控制回路断线；10kV 交流电压回路断线；10kV 系统接地选线信号；直流接地信号；直流电压异常；充电装置故障；通信电源故障信号；UPS 异常信号；所用电失电信号；10kV 开关站事故总信号。

3) 遥控量。10kV 断路器的分、合。

(3) 分散分布式配电自动化系统构成

10kV 开关站分散分布式配电自动化系统框图如图 4.5-8 所示。

10kV 开关站是终端 10kV 配电站。在进线柜、变压器馈电柜、分段断路器柜、电压互感器柜、所用变柜中安装集成了继电保护、自动装置、测量、控制及 I/O 的数字式多功能继电器、数字式保护装置及备自投、电压互感器切换（并联）装置、高压开关操作箱等，以分布分散结构安装，以网络的方式，通过双绞线接入站控计算机。站控计算机通过通信网络，将数据传送给设在电控室的管理后台机。

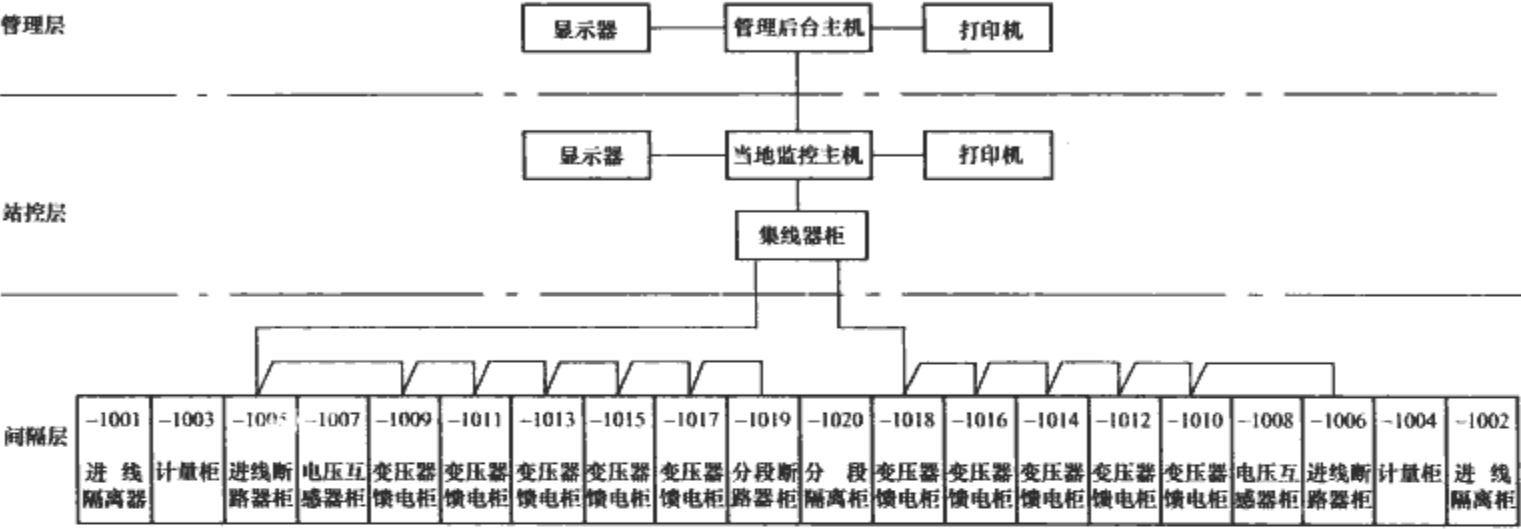


图 4.5-8 10kV 开关站分散分布式配电自动化系统框图

## 第6章 中压配电系统的所用电及操作电源

### 1 所用电

所用电是供给变、配电所的操作、照明及其他动力用电的电源，应确保可靠供电。因此对于所用电的可靠性要求很高。

#### 1.1 所用电源的设置

所用电源的设置应考虑变、配电所的重要性、变配电所容量的大小以及所采用的操作方式等因素来确定。所用电源的设置原则如下：

1) 有两台及以上 10(6)~35kV 变、配电所时宜设置两台所用变压器，两台变压器容量相同，可互为备用，如果能从变电所外引入一个可靠的低压备用所用电源时，或设有蓄电池（阀控式密封铅酸蓄电池）或 UPS 等直流电源时也可设置一台所用变压器。

2) 当 10(6)~35kV 变、配电所只有一回电源进线及只有一台 35kV 主变压器的变电所，可在电源进线断路器之前装设一台所用变压器，当主变压器停电后能从电网取得所用电源。

3) 所用变压器一般不供所外用电。

4) 当变电所内装有 380V 配电变压器能满足所用电要求时，可不设专用的所用变压器，所用电负荷可由配电变压器兼供。

5) 当采用蓄电池组或 UPS 电源的变电所，当用两台所用变压器时，应分别接至不同的主变压器二次侧母线上，当用一台所用变压器时，也可接至主变压器的二次侧母线上。

6) 采用硅整流式直流操作电源的变电所，当用两台所用变压器时，宜将一台接到电源进线断路器的电源侧，一台接到另一电源系统的主变压器二次侧母线上；当采用一台所用变压器时，应将其接至电源进线断路器的电源侧。

7) 当总变电所为满足 6~10kV 网络电压质量的要求而提高母线电压值时，所用变压器一次侧的额定电压宜采用 10.5kV 或 6.3kV。

8) 当有条件时，所用变压器宜装在同一系列的开关柜内。

9) 两个所用电源宜在 380V 侧装设备用电源自动投入装置，当两台所用变压器一次电压等级不同，引起二次电压相位不同时，应设有防止并联运行措施。

#### 1.2 所用电源的接线

1) 当能从所外引来与本变电所无联系的 380V 第二电源时，在主变压器二次侧母线上接一台所用变压器。所用变接线图接线方案适用于采用各种操作电源和二、三级用电负荷的变电所，如图 4.6-1 所示。

2) 当从所外取得第二电源有困难时，在 35kV 受电断路器外侧，装一台所用变压器。接线适用于硅整流式直流操作电源和无特殊要求的变电所，如图 4.6-2 所示。

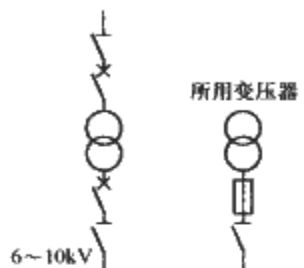


图 4.6-1 所用变压器  
接线图 (1)

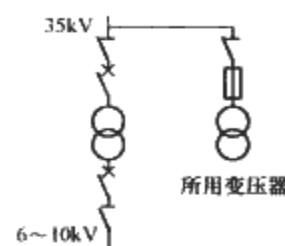


图 4.6-2 所用变压器  
接线图 (2)

3) 电压为 35kV 两台主变压器的变电所，当从所外引来的低压电源有困难时，装设两台所用变压器。一台接在 35kV 的受电断路器外侧，一台接在另一电源系统的主变压器二次侧母线上。

本接线适用于采用硅整流式直流操作电源和各级用电负荷的变压器。

当采用蓄电池组或硅整流镉镍蓄电池直流操作电源时，可将两台所用变压器分别接至不同主要变压器二次侧母线上，如图 4.6-3 所示。

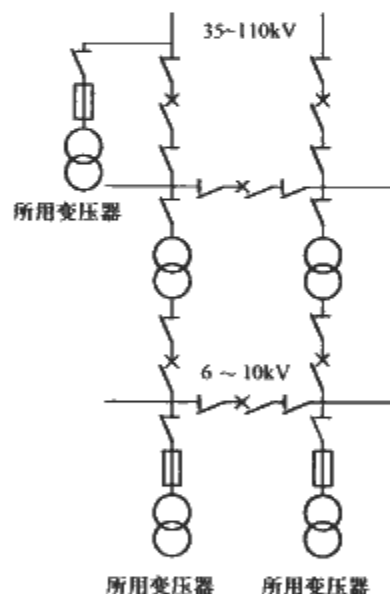


图 4.6-3 所用变压器接线图 (3)

#### 1.3 所用变压器的选择

1) 变压器的一次侧、二次侧额定电压分别与引接点和所用电源系统的额定电压相适应。

2) 连接组别的选择，宜使同一电压级的所用工作、备用变压器输出电压的相位一致。

3) 阻抗电压的选择，宜使引接点电压及所用电源负荷正常波动范围内，所用电源各级母线电压偏移不超过额定电压的  $\pm 5\%$ 。

4) 所用变压器容量必须保证所用操作、照明及其他动力用电的负荷容量。

#### 1.4 所用变压器容量计算

负荷计算采用换算系数法，所用变压器容量为

$$S_t \geq K_1 P_1 + P_2 + P_3 \tag{4.6-1}$$

式中， $K_1$ 为所用动力负荷换算系数，一般取0.85； $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 为所用动力、电热、照明负荷之和，kW； $S_t$ 为所用变压器容量，kVA。

2 操作电源系统

2.1 概述

操作电源为控制、信号、测量回路及继电保护装置，自动装置和断路器的操作提供可靠的工作电源。

由于环保和节能政策的需要，垃圾焚烧等发电项目的发展，为方便设计，此节内容部分条款增加了发电项目的内容，以供参考。

依据标准：

《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》（DL/T 5136—2001）。

《电力工程直流系统设计技术规程》（DL/T 5044—2004）。

2.2 操作电源的基本要求

1) 为保证供电可靠性，最好装设独立的直流操作电源，以防交流系统故障时，影响操作电源的正常供电。

2) 在事故状态下，电网电压下降以至消失时，应能提供继电保护跳闸及应急照明电源。

3) 应具有足够的容量，以保证正常运行时，操作电源母线电压波动范围小于±5%的额定值。事故时的母线电压不低于90%额定值。失去浮充电源后，在最大负荷下直流电压不低于80%额定值。

4) 波纹系数小于5%。

5) 使用寿命、维护工作量、设备投资和布置面积等应合理。

2.3 操作电源系统分类及选择原则

操作电源系统分为直流操作电源系统及交流操作电源系统。选择时应根据变、配电所的容量及断路器操作方式确定。

1) 对于供给特别重要的负荷或变压器总容量大于或等于5000kVA的变电所，宜选用直流操作电源。

2) 对于小型配电所宜采用弹簧储能合闸和去分流分闸的全交流操作方式，或用UPS电源供电的交流操作方式，

因此操作电源宜选交流操作电源。

2.4 直流操作电源系统

2.4.1 直流操作电源系统的基本接线

直流操作电源系统额定电压的选择为：专供控制负荷的直流系统宜采用110V；专供动力负荷的直流系统宜采用220V；控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统采用220V。

对于发电厂一般采用220V，变电所宜采用110V或220V。当变配电所中装有电磁合闸的断路器时，应选用220V直流操作电源。

直流系统接线方式有单母线和单母线分段两种。单母线接线方式适用于设有一组蓄电池、两套充电装置的变电所和小型发电厂。单母线分段接线方式适用于设有一组或两组蓄电池、两套充电装置的大型变电所或机组较多的小型发电厂。

对于工业企业变配电所可采用单母线接线方式，该接线方式的特点：接线简单、可靠。由于浮充充电器接在直流母线上，所以当蓄电池回路刀开关被误切时，直流母线不失电。

还可将浮充充电器经双投刀开关分别接到直流母线和蓄电池组上。充电器经双投刀开关的倒换可接到直流母线或蓄电池组上。

2.4.2 直流负荷

(1) 直流负荷分类

直流负荷的分类可按功能分类和按性质分类，按功能分类可分控制负荷和动力负荷；按性质分类可分为经常性负荷、事故负荷和冲击负荷。

1) 控制负荷。用于电气热工控制、信号装置、继电保护、自动装置及仪表等负荷，这类负荷容量小，在发电厂及变电所中有较大数量。

2) 动力负荷。这类负荷包括各类直流电动机，如发电厂中，直流润滑油泵电动机、氢密封油泵电动机、断路器的电磁操纵合闸机构，交流不停电电源装置、远动、通信装置的电源以及应急照明等的较大功率的负荷，这类负荷在发电厂中容量较大，直接影响直流电源容量和设备的选择。

3) 经常性负荷。经常性负荷是指在正常和事故状态下，均应可靠供电的负荷。

直流负荷的分类及特性，见表4.6-1。

表 4.6-1 直流负荷的特性及分类

序号	负荷名称	负荷性质	正常状态			事故状态		
			是否允许 间断供电	用电时间	正常允许电压 变动范围 (%)	是否允许 间断供电	用电时间	事故末期允许 电压变动范围 (%)
1	位置信号灯、位置指示器和位置继电器	经常负荷	允许有计划停电	长时间	70~105	允许有计划停电	长时间（指事故计算时间，以下同）	
2	控制室常明灯		允许有计划停电	长时间	95~105	不允许	长时间	85
3	继电保护装置和安全自动装置	部分经常负荷	不允许	部分长时间	70~110	不允许	部分长时间	70
4	断路器跳闸回路		不允许	短时间	65~120	不允许	短时间	65
5	隔离开关操作及闭锁回路		允许有计划停电	短时间	85~110	允许	短时间	
6	汽机调速电动机		允许有计划停电	短时间	95~105	允许	短时间	
7	实验室		允许			允许		

续表

序号	负荷名称	负荷性质	正常状态			事故状态		
			是否允许 间断供电	用电时间	正常允许电压 变动范围 (%)	是否允许 间断供电	用电时间	事故末期允许 电压变动范围 (%)
8	交流不停电电源 装置	事故负荷				不允许	长时间	85
9	应急事故照明					不允许	长时间	85
10	汽轮机直流润滑油 泵和发电机氢冷直流 密封油泵					不允许	长时间	85
11	通信备用电源					不允许	长时间	85
12	断路器合闸机构	冲击负荷	允许有计划停电	短时间	(80~85) ~110	不允许	短时间	80~85

- 注 1. 信号装置。信号装置包括信号灯、位置指示器、光字牌以及各类信号报警器等。这类装置在所有工况下部分或全部处于工作状态，都应有可靠的直流电源供电。
2. 继电保护和自动装置。继电保护和自动装置的作用，是在电力系统故障时，有效地切除故障，把故障限制在最小的范围内；以最短的时间恢复供电。这类装置正常和事故时需要可靠的电源，以保证其动作的正确性和可靠性。
3. 电气和热工控制操作装置。这类装置包括电气开关设备跳合闸控制装置和热力设备的操作设备。这类设备不仅在操作时要求有可靠的足够功率的电源，且在非操作状态下，也要求有可靠的电源，为其辅助元件供电。
4. 电气和热工仪表。目前在发电厂、变电所中广泛采用以集成电路或微机为基础的仪表装置，这类装置要求可靠的辅助电源，以保证测量仪表的正常工作和检测的准确性。
5. 工作照明。在事故停电时，为确保控制室等重要工作场所能正常工作，应设置由直流电源供电的经常照明。
6. 其他辅助设备。为保证电气和热控设备能安全可靠地工作，通常设置必要的辅助性的继电器，如切换继电器、闭锁继电器、电源监视继电器等。这些继电器消耗一定的功率。

4) 事故负荷。当发电厂或变电所在交流电源消失后，全厂停电状态下，必须由直流电源供电的负荷作为直流负荷，此种负荷含下列几种：

① 应急照明。在正常照明因事故停电而启用的照明。它包括疏散照明、安全照明、备用照明。疏散照明用于确保疏散通道被有效地辨认和使用；安全照明用于确保处于潜在危险之中的人员安全使用；备用照明用于确保正常活动继续进行的照明。

对于有保安电源时，有部分应急照明由直流电源供电，对无保安电源的发电厂和变电所，应急照明全部由直流电源供电。

② 交流不停电电源装置由厂用保安电源供电，当厂用交流电源中断时，由蓄电池组经逆变器供电。事故时直流电源还承担不停电电源装置的负荷。

③ 在发电厂中，直流动力负荷包括汽机的直流润滑油泵、氢气发电机密封油泵、气动给水泵直流润滑油泵等直流油泵电动机。

④ 通信用电源。在发电厂变电所中，通信系统一般设有独立的通信电源，作为正常工作电源。为保证系统的可靠性，在无专用蓄电池组时，通常由直流系统引接备用电源。

⑤ 信号和继电保护装置。对于经常负荷中的信号装置、继电保护和自动装置等直流负荷在事故状态下，相关的信号装置和继电保护及自动装置都将动作，增加了瞬时消耗功率。因此这些负荷也应统计在事故负荷中。

5) 冲击负荷。冲击负荷是指在极短的时间内施加的大负荷的电流，如断路器的合闸电流，冲击负荷在事故初期、事故过程中以及事故末期均有可能发生。

① 事故初期冲击负荷。事故初期冲击负荷是指在交流电源消失后 1min 内的全部直流负荷。这些负荷包括各种直

流油泵的起动电流、厂用电源切换时的断路器跳、合闸电流、需要切除的厂用电机的断路器跳闸电流、所有在停电过程中需要动作的继电器、信号装置以及其他热工保护自动装置等。

在发电厂中，事故初期负荷较大，而且蓄电池容量往往决定于该阶段的负荷。在变电站中，该放电阶段负荷较小。

② 事故末期冲击负荷或随机冲击负荷。该类冲击负荷主要指电磁操动机构的断路器合闸电流。这类负荷可作用于放电过程的任一时刻，但为了保证断路器的可靠合闸，通常人为地选择在阶梯负荷某一最严重的放电阶段的末期，也就是选择在蓄电池端电压最低的时候的负荷。

(2) 直流负荷统计

直流负荷的统计应注意统计内容详实、完整、避免漏项。负荷的计算容量准确，并正确分析事故的放电过程，准确合理选择直流设备的工作时间。

直流负荷的统计还应考虑装设蓄电池组的数量，当装设 2 组蓄电池时：

1) 控制负荷。每组应按全部负荷统计。

2) 动力负荷。宜平均分配在两组蓄电池上，其中直流应考虑照明负荷，每组按全部负荷的 60% 统计，对变电所和有保安电源的发电厂可按 100% 统计。

3) 事故后恢复供电的断路器合闸冲击负荷按随机负荷考虑。

当两个直流系统间设有联络线时，每组蓄电池仍按各自所连接的负荷考虑，不因互联而增加负荷容量的统计。

当直流系统标称电压为 48V 及以下的蓄电池组，每组均按全部负荷统计。

直流负荷统计内容见表 4.6-2(a) 和表 4.6-2(b)。

表 4.6-2(a) 直流负荷统计表(电压控制法)

序号	负荷名称	装置容量 (kW)	负荷系数	计算电流 (A)	经常负 荷电流 (A)	事故放电时间及放电容量(A·h)				
						初 期	持 续(h)			随 机
						1min	0.5	1.0	2.0	5s
					$I_{jc}$	$I_{cho}$	$C_{s0.5}$	$C_{s1.0}$	$C_{s2.0}$	$I_{dms}$
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12	电流统计					$I_1 =$	$I_2 =$	$I_3 =$	$I_4 =$	$I_R =$
13	容量统计						$C_S =$	$C_S =$	$C_S =$	
14	容量累加						$C_{S0.5} =$	$C_{S1} =$	$C_{S2} =$	
15	合计									

表 4.6-2(b) 直流负荷统计表(阶梯计算法)

序号	负荷名称	装置容量 (kW)	负荷系数	计算电流 (A)	经常负 荷电流 (A)	事故放电时间及放电电流(A)						
						持 续(min)						随 机
						初期 1	1~30	30~60	60~120	120~180	180~480	5s
					$I_{jc}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_R$
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15	合 计											

(3) 直流负荷表的填写要点

- 1) 按实际的直流经常负荷、事故负荷分类填入表内。
- 2) 填入相应负荷的装置容量和负荷系数，并计算出计算容量，计算容量=装置容量×负荷系数。负荷系数见表 4.6-4。
- 3) 按直流负荷的持续时间填入相应的负荷电流。
- 4) 汇总统计事故过程中各时段事故负荷电流和总容量。

2.4.3 关于事故停电时间

(1) 停电时间

- 1) 与电力系统连接的发电厂，厂用交流电源事故停电时间应按 1h 计算。

- 2) 不与电力系统连接的孤立发电厂，厂用交流电源事故停电时间应按 2h 计算。

- 3) 有人值班的变电所，全所交流电源事故停电时间应按 1h 计算。

- 4) 无人值班的变电所，全所交流电源事故停电时间应按 2h 计算。

- 5) 交流不停电电源 (UPS) 根据《火力发电厂热工自动化设计技术规定》要求，厂用交流中断情况下，不停电电源应能保证连续供电 30min，则计算时间为 0.5h。

- 6) 事故初期瞬间冲击负荷，取 1min。

- 7) 随机或事故末期冲击负荷，计算时间取 5s。

关于直流负荷统计计算时间应符合表 4.6-3 的规定。直流负荷统计时负荷系数，见表 4.6-4。

表 4.6-3 直流负荷统计计算时间

序号	负 荷 名 称		经 常	事故放电计算时间							
				初 期	持 续 (h)					随 机	
					1min	0.5	1.0	1.5	2.0		3.0
1	信号灯、位置指示器和位置继电器	发电厂和有人值班变电所	✓	✓		✓					
		无人值班变电所	✓	✓			✓				
		换流站和孤立发电厂	✓	✓			✓				
2	控制、保护、监控系统	发电厂和有人值班变电所	✓	✓		✓					
		无人值班变电所	✓	✓			✓				
		换流站和孤立发电厂	✓	✓			✓				
3	断路器跳闸			✓							
4	断路器自投（电磁操动机构）			✓							
5	恢复供电断路器合闸									✓	
6	氢密封油泵	200MW 及以下机组		✓		✓					
7	直流润滑油泵	25MW 及以下机组		✓	✓						
		50~300MW 机组		✓		✓					
8	交流不停电电源	发电厂			✓	✓					
		变电所	有人值班		✓		✓				
			无人值班		✓			✓			
		换流站和孤立发电厂			✓				✓		
9	DC/DC 变换装置	有人值班变电所	✓	✓		✓					
		无人值班变电所	✓	✓				✓			
10	直流长明灯	发电厂和有人值班变电所	✓	✓		✓					
		换流站和孤立发电厂	✓	✓				✓			
11	应急照明	发电厂和有人值班变电所		✓		✓					
		换流站和孤立发电厂		✓				✓			
		无人值班变电所				✓					

注 表中“✓”表示具有该项负荷时，应予以统计的项目。

表 4.6-4 直流负荷统计负荷系数表

序号	负荷名称	负荷系数	备 注
1	信号灯、位置指示器和位置继电器	0.6	
2	控制、保护、监控系统	0.6	
3	断路器跳闸	0.6	
4	断路器自投（电磁操动机构）	0.5	
5	恢复供电断路器合闸	1.0	
6	氢密封油泵	0.8	
7	直流润滑油泵	0.9	
8	交流不停电电源装置	0.6	
9	DC/DC 变换装置	0.8	
10	直流长明灯	1.0	
11	事故照明	1.0	

注 事故初期（1min）的冲击负荷，按如下原则统计：

1. 备用电源断路器为电磁操动合闸机构时，应按备用电源实际自投断路器台数统计。
2. 低电压、母线保护、低频减载等跳闸回路按实际数量统计。
3. 电气及热工的控制、信号和保护回路等按实际负荷统计。
4. 事故停电时间内，恢复供电断路器电磁操动机构的合闸电流（随机负荷），应按断路器合闸电流最大的 1 台统计。并应与事故初期冲击负荷之外的最大负荷或出现最低电压时的负荷相叠加。

(2) 直流负荷计算

根据表 4.6-4 直流负荷的统计中，由直流系统供电的控制、信号、保护和自动装置等负荷的电流，可从各装置的铭牌参数查得，也可由额定功耗计算求得。在直流负荷统计表中，应根据各装置的额定功耗、电流和装置数量分类进行统计计算。当缺乏确切的负荷资料时，可参考下述方法进行统计计算。

1) 经常负荷。

① 信号灯或位置指示器。每只信号灯或位置指示器的功耗按 3~5W 统计，根据断路器隔离开关等回路数量，按系统（如各电压等级）统计，即各系统直流功耗 =（断路器数 + 隔离开关数）×（3~5W）。

② 光字牌。光字牌信号分为预告信号和事故信号。当光字牌采用白炽灯泡时，每只光字牌负荷按 2×15W 计算；当光字牌采用发光二极管时，每只光字牌负荷按 3~5W 计算，通常将光字牌总数的 15% 作为事故信号。

当光字牌采用集成电路型闪光报警器时，其直流负荷应按经常负荷和事故负荷统计。光字牌的经常负荷  $P_{\text{sj}}$  为

$$P_{\text{sj}} = P_{\text{zx}} N_{\text{x}} \quad (4.6-2)$$

式中， $P_{\text{zx}}$  为每套闪光报警器正常消耗功率，W（单回路闪光报警器正常功耗约为 2~5W）； $N_{\text{x}}$  为闪光报警器套数。

光字牌的事故负荷  $P_{\text{xs}}$  按经常负荷的 1.2 倍统计，即

$$P_{\text{xs}} = 1.2 P_{\text{sj}}$$



③ 经常带电的继电器。根据设计和运行经验,不同电力单元的控制回路接入的经常带电的中间继电器数量,每单元可按下述估算:

35kV 及以下变压器为 2~4 只;35kV 及以下线路为 2~4 只;10kV 及以下变压器为 2~4 只;10kV 及以下线路为 2~4 只;每只继电器的功耗约为 5~7W;每个单元,经常带电继电器消耗的总功率为

$$P_{Kj} = (5 \sim 7) N_K \quad (4.6-3)$$

式中,  $N_K$  为继电器数量。

继电器事故负荷  $P_{Ks}$  按经常带电继电器消耗的总功率的 1.2 倍统计,即

$$P_{Ks} = 1.2 P_{Kj}$$

④ 继电保护和自动装置。继电保护和自动装置主要分为电磁型、整流型、集成电路型和微机型四种型式。由于电磁型继电保护装置动作速度慢、性能差、交流功耗大、维护工作量大,目前应用量逐渐减少。而集成电路型或微机型继电保护装置具有动作速度快、功耗小、调校整定方便、维护简单等一系列特点,目前已被广泛采用。表 4.6-5 列出了常见的整流型、集成电路型和微机型每套主设备继电保护装置和自动装置屏在正常和动作工况下的直流功率消耗值,可供无确切负荷资料时参考。

不同类型的保护在不同工况下的功率消耗,见表 4.6-5。

表 4.6-5 不同类型的保护在不同工况下的功率消耗

工作状态	整流型	集成电路型	微机型
正常 (W)	60	60	80
动作 (W)	150	150	200

2) 经常直流照明。经常直流照明,是为避免事故发生时,事故照明尚未及时投运前出现的短时照明消失现象,而在控制室内设置的直流照明装置。其照度无严格要求,只要保证值班人员能进行处理事故的活动即可。经常直流照明负荷大小,主要决定于控制室的规模,一般可按以下数据估算。灯具一般情况下用白炽灯,当有交流不停电电源时,也可采用荧光灯。

经常直流照明负荷数据参考值为:控制台、控制屏前的负荷为每 3~4 面屏 60~100W,控制室中央为 100~200W,控制室走道为 40~100W。

3) 应急照明。对于变电所和中小型发电厂,一般采用主控制室控制方式,全部应急照明负荷均取自直流电源。应急照明负荷采用可瞬时燃亮的白炽灯或可靠点亮的荧光灯。一般在主控制室、屋外配电装置等处设置应急备用照明。容量按具体工程的备用照明负荷计算。

对于变电所,在主控室、屋内配电装置室等处设置直流应急照明。

对于采用主控制室方式的中小机组发电厂,一般是在主控制室、屋内配电装置、通信机房等处设置直流应急照明以

及继电器室、计算机房等处设置直流应急照明。

直流应急照明负荷应以该工程设计的照明负荷实际情况计算为准。当初步估算时可参照表 4.6-6 数据估算。

表 4.6-6 直流事故照明负荷参考数据

序号	车间名称	计算负荷 (kW)
1	中、小容量发电厂和变电所的主控制室	2~3
2	100~200MW 机组发电厂单元控制室 (一机一控)	1.5~2
3	100~200MW 机组发电厂单元控制室 (二机一控)	1.8~2.5
4	计算机室	0.8
5	6~10kV 三层屋内配电装置 (L=50m)	2
6	35kV 二层屋内配电装置 (L=30m)	1
7	每台机组的主厂房照明 (MW) (主控制室控制方式)	100~125
		25~50
		≤12
8	柴油机房	1~2

4) 直流电动机。在发电厂中,为保证起停机的安全,基本采用直流的油泵电动机。如汽轮机的直流润滑油泵、气动给水泵直流润滑油泵等。均为重要的直流泵类动力负荷,对蓄电池容量确定时,应考虑这类直流负荷的影响。

直流电动机负荷电流按持续工作电流计算。持续工作电流,一般取额定电流的 0.7~0.9 倍,即取负荷系数  $K=0.7\sim0.9$ 。

直流油泵电动机技术参数见产品样本。

5) 冲击负荷。冲击负荷的计算应分别统计事故初期及事故过程中出现的冲击负荷。对于事故初期的冲击负荷应计入:

① 直流油泵电动机的起动电流,按发生事故后立即起动的电动机的起动电流之和进行计算,起动电流可按电动机额定电流的 2.0~2.5 倍考虑。

② 对于有备用电源自动投入断路器的合闸电流。当断路器为电磁操作机构时,按同时合闸的断路器合闸电流之和计算,并乘以小于 1 的负荷系数  $K_u$ ,一般该系数取  $K_u=0.85$ 。

③ 在备用电源自动投入时,有一些负荷支路的断路器跳闸,因此这些跳闸断路器跳闸时的电流之和应计入,并乘以负荷系数  $K_u=0.85$ 。

因此事故初期的冲击电流应为上述三项电流之和。对于事故过程中的冲击负荷应计入:事故停电过程中,可能出现的断路器合闸电流或其他冲击电流,此冲击电流可按一台合闸电流最大的断路器参数进行计算。

常用断路器操动机构技术数据,见表 4.6-7。

表 4.6-7 各型断路器操动技术数据表

断路器型号	操动机构型号	合闸线圈电流 (A)		跳闸线圈电流 (A)		合闸时间 $t_1$ (ms)	分闸时间 $t_2$ (ms)	储能电动机 容量(W)		合闸回路熔断器 电流(A)	
		直流电压(V)						直流电压(V)			
		110	220	110	220			110	220	110	220
VD4—35	CT(VD4—35)	2.27	1.14	2.27	1.14	$55 \leq t_1 \leq 70$	$33 \leq t_2 \leq 70$	140	140	6	6
ZN12—35	CT(ZN12—35)	1.91	0.89	1.91	0.89	$45 \leq t_1 \leq 90$	$45 \leq t_2 \leq 90$	275	275	6	6
ZN65—35	CT(ZN65—35)	1.8	0.9	1.8	0.9			275	275		6
ZN28—12	CD17	110~328	55~164	2.56	1.33	$\leq 120$	$\leq 55$				20~50

续表

断路器型号	操动机构型号	合闸线圈电流 (A)		跳闸线圈电流 (A)		合闸时间 $t_1$ (ms)	分闸时间 $t_2$ (ms)	储能电动机 容量(W)		合闸回路熔断器 电流(A)	
		直流电压(V)						直流电压(V)			
		110	220	110	220			110	220	110	220
ZN28—12	CT17	2.2	1.4	2.2	1.4	$\leq 60$	$\leq 60$	75	75	6	6
ZN28—12	CT19	1.3	0.55	2.3	1.2	$\leq 150$	$\leq 60$	110	110	6	6
ZN12—12	CT(ZN12)	1.91	0.89	1.91	0.89	$\leq 75$	$\leq 50$	275	275	6	6
ZN18(VK)	CT(ZN18)	4.6	2.3	4.6	2.3	$2 \leq t_1 \leq 45$	$15 \leq t_2 \leq 30$	110	110	6	6
ZN21	CT(ZN21)	1.2	1	1.2	1	30~50	30~50	80	80	6	6
ZN63A—12	CT(ZN63)	2.91	1.45	2.23	1.11	$\leq 100$	$\leq 50$	70	70	6	6
ZN65A	CT(ZN65A)	1.8	0.9	1.8	0.9	$47 \pm 7$	$52 \pm 7$	200	200	6	6
ZN68—12	CT(ZN68A)	2.5	1.25	2.5	1.25	$\leq 75$	$\leq 65$			6	6
VD4	CT(VD4)	2.27	1.14	2.27	1.14	$55 \leq t_1 \leq 67$	$33 \leq t_2 \leq 45$	140	140	6	6
VSI	CT(VSI)	3.35	1.67	3.35	1.67	$\leq 100$	$\leq 50$	70	70	6	6
NVU12—中置	CT(NVU2)	1.5	0.75	0.32	0.16	$20 \leq t_1 \leq 40$	$35 \leq t_2 \leq 60$	34	34	6	6
NVU12—落地	CT(NVU12)	1.5	0.75	1.5	0.75	$60 \leq t_1 \leq 95$	$35 \leq t_2 \leq 60$	100	100	6	6

2.4.4 直流系统设备的选择

(1) 直流电压的选择

在《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)中有关直流系统的额定电压有下列要求:

- 1) 专供控制负荷的直流系统宜采用 110V。
- 2) 专供动力负荷的直流系统宜采 220V。
- 3) 控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统采用 220V。
- 4) 当采用弱电控制或弱电信号接线时,采用 48V 及以下。

(2) 直流母线电压允许波动范围

在正常情况下,直流母线电压应为直流系统标称电压的 105%。在均衡充电运行情况下,直流母线电压应满足如下要求:

- 1) 专供控制负荷的直流系统,应不高于直流系统标称电压的 110%。
- 2) 专供动力负荷的直流系统,应不高于直流系统标称电压的 112.5%。
- 3) 对控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统,应不高于直流系统标称电压的 110%。

对在事故放电情况下,蓄电池组出口端电压应满足如下要求:

- 1) 专供控制负荷的直流系统,应不低于直流系统标称电压的 85%。
- 2) 专供动力负荷的直流系统,应不低于直流系统标称电压的 87.5%。
- 3) 对控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统,宜不低于直流系统标称电压的 87.5%。

(3) 对蓄电池个数的选择

直流系统的接线方式以及单电池放电电压、蓄电池组的电池个数决定直流系统的电压水平,也是体现直流供电系统供电质量的重要因素。

直流系统的接线方式分为不带端电池和带端电池两种,此两种接线方式所要求的蓄电池放电电压和蓄电池个数均不同。采用带端电池系统中对端电池的维护运行带来一定困难,因此目前直流系统设计多采用不带端电池方案。

蓄电池的选择。蓄电池在正常浮充电运行方式下,按直流母线电压的 105%来确定蓄电池个数,其他运行方式下直流系统母线电压应不超出直流用电设备所允许的电压波动范围,即直流母线电压应在直流系统额定电压的 85%~110%范围内。

蓄电池的浮充电压、均衡充电电压及放电末期电压的选择符合下列规定。

蓄电池浮充电压应根据厂家提供数值选取,当无产品资料时可按下述原则选取:

- ① 防酸式铅酸蓄电池的单体浮充电电压值宜取 2.15~2.17V (GFD 型蓄电池宜取 2.17~2.23V)。
- ② 阀控式密封铅酸蓄电池的单体浮充电电压值宜取 2.23~2.27V。
- ③ 中倍率镉镍碱性蓄电池的单体浮充电电压值宜取 1.42~1.45V。
- ④ 高倍率镉镍碱性蓄电池的单体浮充电电压值宜取 1.36~1.39V。

而单体蓄电池放电终止电压应根据直流系统中直流负荷允许的最低电压值和蓄电池的个数来确定,但不得低于产品规定的最低允许电压值。

在浮充电运行时,按直流母线电压为  $1.05U_t$  来选择蓄电池个数,即

$$n=1.05U_t/U_f$$

检查均衡充电时,不大于直流母线允许电压最高值,即

$$U_c \leq 1.10U_t/n \tag{4.6-4}$$

检验事故放电末期,不小于直流母线允许电压最低值,即

$$U_m \geq (0.85 \sim 0.875) U_t/n \tag{4.6-5}$$

式中,  $U_t$  为直流系统额定电压, V;  $U_f$  为每个蓄电池浮充电压, V;  $U_c$  为每个蓄电池均衡充电电压, V;  $U_m$  为蓄电池组个数;  $N$  为蓄电池组个数。

对于断路器合闸线圈的最低电压要求大于等于 85%时,  $U_m$  应取  $0.875U_t/n$ 。

不同型式蓄电池组的电池参数,见表 4.6-8~表 4.6-10。

表 4.6-8 铅酸蓄电池组的单体 2V 电池参数选择参考数值表

系统标称电压 (V)	浮充电压 (V)	2.15		2.23		2.25	
	均充电压 (V)	2.30		2.33		2.35	
220	蓄电池个数	106	107	103	104	102	103
	浮充时母线电压 (V)	227.90	230	229.70	231.90	229.50	231.75
	均充时母线电压 (%)①	110.82	111.86	110	111.10	108.96	110
	放电终止电压 (V)	1.80	1.80	1.87	1.85	1.87	1.87
	母线最低电压 (%)①	86.73	87.55	87.55	87.45	86.70	87.55
110	蓄电池个数	52	53	51	52	50	51
	浮充时母线电压 (V)	111.80	113.95	113.73	115.96	112.50	114.75
	均充时母线电压 (%)①	108.73	110.82	108.03	110.15	106.82	109
	放电终止电压 (V)	1.83	1.80	1.87	1.85	1.87	1.87
	母线最低电压 (%)①	86.51	86.73	86.70	87.46	85	86.70
48	蓄电池个数	22	23	22	23	22	23
	浮充时母线电压 (V)	47.30	49.45	49.06	51.29	49.50	51.75
	均充时母线电压 (%)①	105.42	110.21	106.79	111.65	107.71	112.60
	放电终止电压 (V)	1.87	1.80	1.87	1.83	1.87	1.83
	母线最低电压 (%)①	85.71	86.25	85.71	87.69	85.71	87.69
24	蓄电池个数	11	12	11		11	
	浮充时母线电压 (V)	23.65	25.80	24.53		24.75	
	均充时母线电压 (%)①	105.42	115	106.79		107.71	
	放电终止电压 (V)	1.87	1.75	1.87		1.87	
	母线最低电压 (%)①	85.71	87.50	85.71		85.71	

① 表示对系统标称电压的百分比。

表 4.6-9 阀控式密封铅酸蓄电池组的组合 6V 和 12V 电池参数选择参考数值表

系统标称电压 (V)	组合电池电压 (V)	电池个数	浮充电压 (V)	浮充时母线电压 (V)	均充电压 (V)	均充时母线电压 (%)①	放电终止电压 (V)	母线最低电压 (%)①
220	6	34	6.75	229.50	7.05	108.96	5.61	86.70
		34+1(2V)		231.75		110	5.61	87.55
	12	17	13.50	229.50	14.10	108.96	11.22	86.70
		17+1(2V)		231.75		110	11.22	87.55
110	6	16+1(4V)	6.75	112.50	7.05	106.82	5.61	85
		17		114.75		109	5.61	86.70
	10	10	11.25	112.50	11.75	106.82	9.35	85
	12	8+1(4V)	13.50	112.50	14.10	106.82	11.22	85
		8+1(6V)		114.75		109	11.22	86.70
48	4	11	4.50	49.50	4.70	107.71	3.74	85.70
	6	7+1(2V)	6.75	49.50	7.05	107.71	5.61	85.71
		7+1(4V)		51.75		112.60	5.49	87.69
	12	3+1(8V)	13.50	49.50	14.10	107.71	11.22	85.71
		3+1(10V)		51.75		112.60	10.98	87.69
24	4	5+1(2V)	4.50	24.75	4.70	107.71	3.74	85.71
	6	3+1(4V)	6.75		7.05		5.61	
	10	2+1(2V)	11.25		11.75		9.35	
	12	1+1(10V)	13.50		14.10		11.22	

① 表示对系统标称电压的百分比。

表 4.6-10 镉镍蓄电池组的电池参数选择参考数值表

系统标称电压(V)	浮充电压(V)	1.36	1.38	1.39	1.42	1.43	1.45
	均充电压(V)	1.47	1.48		1.52	1.53	1.55
220	浮充电池个数	170	167	166	162	161	159
	母线浮充电压(V)	231.2	230.46	230.74	230.04	230.23	230.55
	均充电池个数	164	163		159	158	156
	母线均充电压(%) <sup>①</sup>	109.13	109.66		109.86	109.88	109.91
	整组电池个数	175 或 180					
	放电终止电压(V)	1.07					
	母线最低电压(%) <sup>①</sup>	85.11 或 87.55					
110	浮充电池个数	85	83		81	80	79
	母线浮充电压(V)	115.60	114.54	115.37	115.02	114.40	114.55
	均充电池个数	82	81		79	79	78
	母线均充电压(%) <sup>①</sup>	109.58	108.98		109.16	109.88	109.91
	整组电池个数	88 或 90					
	放电终止电压(V)	1.07					
	母线最低电压(%) <sup>①</sup>	85.60 或 87.55					
48	浮充电池个数	37	36		35		34
	母线浮充电压(V)	50.32	49.68	50.04	49.70	50.05	49.30
	均充电池个数	35			34		
	母线均充电压(%) <sup>①</sup>	107.19	107.92		107.67	108.38	109.79
	整组电池个数	39 或 40					
	放电终止电压(V)	1.07					
	母线最低电压(%) <sup>①</sup>	86.94 或 89.17					
24	浮充电池个数	18			17		
	母线浮充电压(V)	24.48	24.84	25.02	24.14	24.31	24.65
	均充电池个数	18			17		
	母线均充电压(%) <sup>①</sup>	110.25	111		107.67	108.38	109.79
	整组电池个数	20					
	放电终止电压(V)	1.07					
	母线最低电压(%) <sup>①</sup>	89.17					

① 表示对系统标称电压的百分比。

(4) 蓄电池容量的计算

目前,国内常用的蓄电池容量计算方法有两种,即电压控制法(容量换算法)和阶梯负荷法(电流换算法)。

电压控制法是按事故状态下直流负荷消耗的安·时值计算容量,并按事故放电末期或其他不利条件下校验直流母线电压水平。

阶梯负荷法(电流换算法),是按事故状态下直流负荷电流和放电时间来计算容量。

以上计算方法应能满足下列条件:满足全厂(所)事故全停电时间内的放电容量;满足事故初期(1min)直流电动机启动电流和其他冲击负荷电流的放电容量;满足蓄电池组持续放电时间内随机(5s)冲击负荷电流的放电容量;以最严重事故放电阶段,计算直流母线电压水平。

对于电压控制法以及阶梯负荷法确定蓄电池容量的方法分别介绍如下:

1) 电压控制法(容量换算法)。

① 按事故状态下持续放放负荷计算蓄电池容量。蓄电池容量取决于事故放电容量、事故放电持续时间和限定的放电终止电压,而事故放电持续时间和限定的终止电压决定了蓄电池的容量系数。所以蓄电池的计算容量

$$C_c = K_{rel} C_s / K_{cc} \quad (4.6-6)$$

式中,  $C_s$  为事故放电容量, Ah;  $K_{cc}$  为蓄电池容量系数;  $K_{rel}$  为可靠系数,一般取  $K_{rel} = 1.40$ 。

在式(4.6-6)中,当事故负荷在放电期间恒定不变时,事故放电容量  $C_s$  由事故放电电流  $I_s$  (A) 和事故放电时间  $t_s$  (h) 的乘积决定,即

$$C_s = I_s t_s \quad (4.6-7)$$

当事故负荷在放电期间变化时,一般多为阶梯形负荷曲线,当不是阶梯形时,也可近似地用阶梯形代替。对于阶梯形负荷,可采用分段计算法计算,如图 4.6-4 所示。

对图 4.6-4 所示的阶梯负荷图,有  $n$  个时段  $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_m$ , 划分为  $n$  个计算分段  $t_1, t_2, \dots, t_a, \dots, t_n$ 。

任意一个时段  $m_i$  的放电容量为

$$C_{mi} = I_i t_{mi} \quad (4.6-8)$$

从放电开始,到包含时段  $m_i$  的任意分段  $t_a$  结束,总的负荷容量为

$$C_{sa} = \sum_{i=1}^a C_{mi} \quad |_{a=1,2,\dots,n} \quad (4.6-9)$$

在计算分段  $t_a$  内,所需要的蓄电池容量计算值为

$$C_{ca} = K_{rel} C_{sa} / K_{cca} \quad |_{a=1,2,\dots,n} \quad (4.6-10)$$

式中,容量系数  $K_{cca}$  按计算分段的时间  $t_a$  决定。

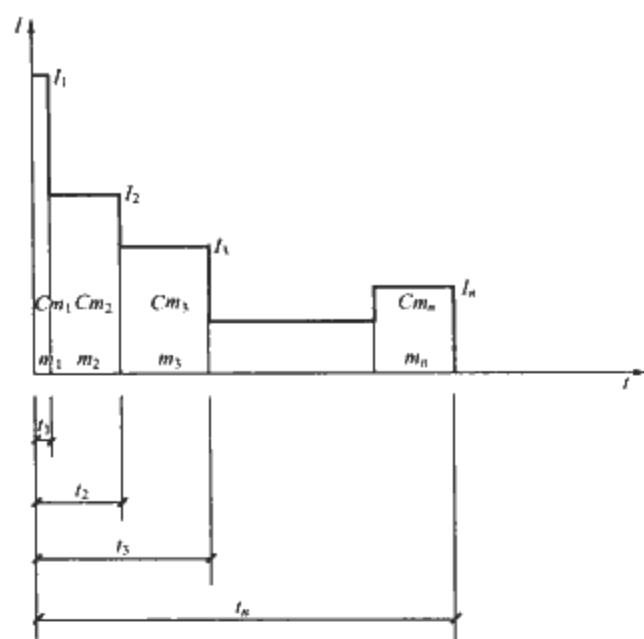


图 4.6-4 阶梯负荷分段计算的说明

分别计算  $n$  个分段的蓄电池计算容量, 然后按其中最大者选择蓄电池, 则蓄电池容量为

$$C_c \geq \max_{a=1}^n C_{cmax} \quad (4.6-11)$$

## ② 放电电压水平的校验。

a. 持续放电电压水平的校验。事故放电末期, 电压将降到最低, 校验是否符合要求的方法如下:

事故放电期间蓄电池的放电系数

$$K = K_{rel} C_s / (t I_{10}) \quad (4.6-12)$$

式中,  $C_s$  为事故放电容量, Ah, 按式 (4.6-7) 确定;  $t$  为事故放电时间, h;  $I_{10}$  为 10h 放电率电流, A。

根据  $K$  值, 由蓄电池放电时间和电压关系曲线 (见相关蓄电池产品资料), 查出单个蓄电池的电压 ( $U_{fin}$ ), 然后求得蓄电池组的端电压

$$U = n U_{fin} \quad (4.6-13)$$

b. 冲击放电电压水平的校验。冲击放电过程中, 放电时间极短, 放电电流较大。因此, 在按持续放电算出蓄电池容量后, 还应校验事故放电初期、末期以及其他放电阶段中, 在可能的大冲击放电电流作用下蓄电池组的电压水平。

a) 事故放电初期, 电压水平的校验。事故放电初期的冲击系数为

$$K_{cho} = K_{rel} I_{cho} / I_{10} \quad (4.6-14)$$

式中,  $K_{rel}$  为可靠系数, 通常取 1.1;  $I_{cho}$  为事故放电初期冲击放电电流, A。

根据  $C_{cho}$  值, 由蓄电池冲击放电曲线族中的 “0” 曲线查得单个电池的电压值  $U_{cho}$ , 即求得蓄电池组的端电压

$$U = n U_{cho} \quad (4.6-15)$$

式中,  $n$  为蓄电池组的电池个数。

b) 事故放电过程中, 包括事故放电末期出现大冲击电流时电压水平的校验。计算事故放电过程中出现大冲击电流时放电系数和冲击系数

$$K_f = K_{rel} C_s / (t I_{10}) \quad (4.6-16)$$

$$K_{chf} = K_{rel} I_{chf} / I_{10} \quad (4.6-17)$$

根据冲击系数  $K_{chf}$ , 查蓄电池冲击放电曲线族 (见蓄电池产品资料), 中对应于  $K_f$  的曲线, 求得单个电池电压  $U_{chf}$ , 并由此求得蓄电池组的端电压

$$U_D = n U_{chf} \quad (4.6-18)$$

由式 (4.6-13)、式 (4.6-15) 和式 (4.6-18) 求得的端电压值应不小于要求值。

## ③ 按电压水平计算蓄电池容量。

a. 按持续放电末期电压水平计算蓄电池容量。事故放电末期, 蓄电池的终止电压应为

$$U_d \geq K_u U_n / n \quad (4.6-19)$$

式中,  $K_u$  为表示电压下降的系数。对控制用电池  $K_u = 0.86$ ; 对动力用电池,  $K_u = 0.885$ ;  $U_n$  为直流系统额定电压, V;  $n$  为蓄电池个数。

设事故计算时间为  $t_s$ , 按  $U_d$  和  $t_s$  值用容量系数曲线 (见蓄电池产品资料), 确定  $K_{cc}$  值。

蓄电池的计算容量  $C_c$  仍按式 (4.6-6) 或式 (4.6-7) ~ 式 (4.6-10) 计算。

在按持续放电确定蓄电池容量时, 如果决定  $K_{cc}$  的放电终止电压已满足电压水平要求, 则在事故放电末期, 蓄电池的电压水平一定能满足要求, 就不需要再进行上述电压水平的计算。

b. 按冲击放电电压水平计算蓄电池容量。在冲击放电电流  $I_{ch}$  作用下, 蓄电池的端电压应为

$$U_{ch} \geq K'_u U_n / n \quad (4.6-20)$$

式中,  $K'_u$  为表示电压下降的系数, 其值根据冲击负荷的要求确定, 一般可取  $K'_u = K_u$ 。

冲击放电电流  $I_{ch}$  所要求的蓄电池容量计算值为

$$C_c = K_{rel} I_{ch} / K_{ch} \quad (4.6-21)$$

式中,  $K_{ch}$  为冲击系数。

如果冲击放电电流出现在放电初期, 则  $I_{ch} = I_{cho}$ , 此时根据  $U_{ch}$ 、 $t_s$  和  $K=0$  用图 4.6-5 中的 (0) 曲线确定  $K_{ch} = K_{cho}$ , 进而即可由式 (4.6-21) 算出满足电压水平要求的蓄电池容量。

如果冲击放电电流  $I_{ch}$  是出现以放电系数  $K$  持续放电 1h 或 0.5h 末期, 则因蓄电池容量是未知数, 尚不能用式 (4.6-16) 算出相应的放电系数  $K$  值。此时须用渐近法计算: 先给出一个  $K$  值, 根据已知的  $U_{ch}$  和  $t_s$  值由图 4.6-5 (当  $t_s = 1h$  时) 或图 4.6-6 (当  $t_s = 0.5h$  时) 确定一个对应  $K$  值的冲击系数  $K_{ch} = K_{chm}$ 。再用式 (4.6-21) 算出蓄电池的计算容量  $C_c$ , 然后计算与  $C_c$  对应的放电系数

$$K' = K_{rel} C_s / (t_s C_c) \quad (4.6-22)$$

如果  $K'$  小于并接近于给定的  $K$  值, 则可按算出的  $C_c$  值

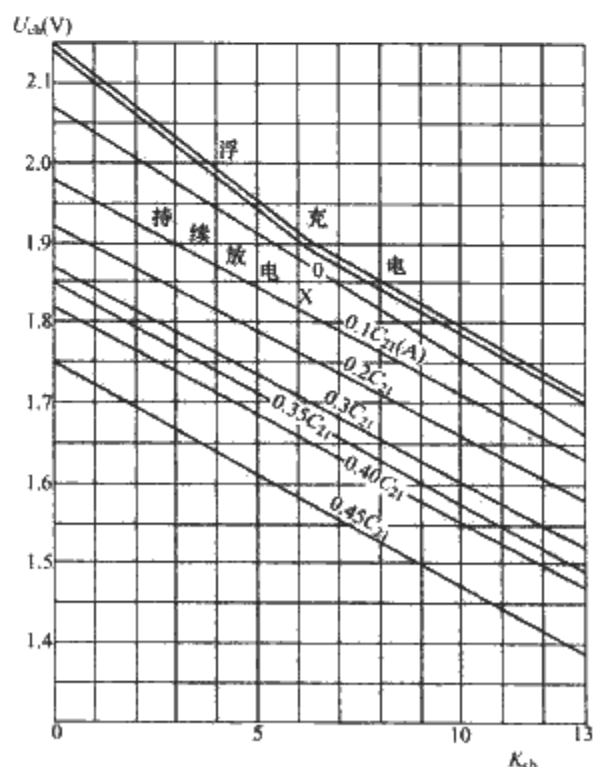


图 4.6-5 GF-1000 型蓄电池持续放电 1h 冲击放电曲线族

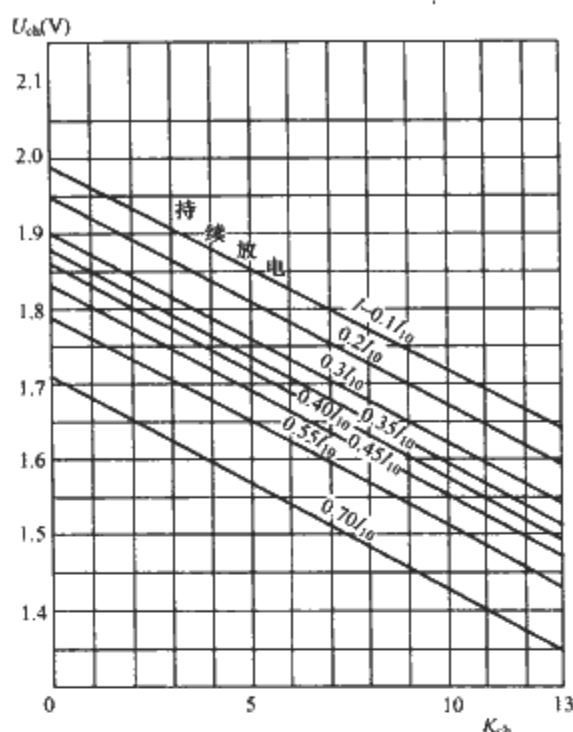


图 4.6-6 GF-1000 型铅蓄电池持续放电  
0.5h 冲击放电曲线族

确定蓄电池的容量。否则须重复进行上述计算。

## 2) 阶梯负荷法 (电流换算法)。

### ① 阶梯负荷法的要点。

a. 蓄电池在放电电流阶段性减小, 特别是大电流放电后负荷减小的情况下, 具有恢复容量的特性, 本算法考虑了这一特性。

b. 利用容量换算系数直接由负荷电流确定蓄电池的容量。由于这种方法是在给定放电终止电压条件下进行计算的, 所以只要选择的蓄电池容量大于或接近计算值, 就不必再对蓄电池容量进行电压校验。

c. 随机负荷 (一般为冲击负荷) 叠加在第一阶段 (大电流放电) 以外的最大负荷段上进行计算。各阶段的计算容量相比较后取大者, 即为蓄电池的计算容量。

### ② 计算方法。

对图 4.6-7 所示的阶梯负荷图, 分为  $n$  个时段  $M_1, M_2, \dots, M_n$ 。这几个时段组成  $n$  个计算阶段, 每个阶段内包括相应数目的计算分段。

各阶段内分段的时间, 可用  $t_{ai}$  表示, 并且有

$$t_{ai} = \sum_{j=1}^a M_j \quad \left| \begin{array}{l} a=1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (4.6-23)$$

当  $n=2$  时

对  $a=1$

$$C_{c1} = K_{rel} I_1 / K_{c11}$$

$a=2$

$$C_{c2} = K_{rel} [I_1 / K_{c21} + 1 / K_{c22} (I_2 - I_1)]$$

当  $n=3$  时

对  $a=1$

$$C_{c1} = K_{rel} I_1 / K_{c11}$$

$a=2$

$$C_{c2} = K_{rel} [I_1 / K_{c21} + 1 / K_{c22} (I_2 - I_1)]$$

$a=3$

$$C_{c3} = K_{rel} [I_1 / K_{c31} + (1 / K_{c32}) (I_2 - I_1) + (1 / K_{c33}) (I_3 - I_2)]$$

当  $n=5$  时

对  $a=1$   $C_{c1} = K_{rel} I_1 / K_{c11}$

$a=2$   $C_{c2} = K_{rel} [I_1 / K_{c21} + (1 / K_{c22}) (I_2 - I_1)]$

$a=3$   $C_{c3} = K_{rel} [I_1 / K_{c31} + (1 / K_{c32}) (I_2 - I_1) + (1 / K_{c33}) (I_3 - I_2)]$

$a=4$   $C_{c4} = K_{rel} [I_1 / K_{c41} + (1 / K_{c42}) (I_2 - I_1) + (1 / K_{c43}) (I_3 - I_2) + (1 / K_{c44}) (I_4 - I_3)]$

$a=5$   $C_{c5} = K_{rel} [I_1 / K_{c51} + (1 / K_{c52}) (I_2 - I_1) + (1 / K_{c53}) (I_3 - I_2) + (1 / K_{c54}) (I_4 - I_3) + (1 / K_{c55}) (I_5 - I_4)]$

在式 (4.6-27) ~ 式 (4.6-29) 中, 取大值, 并计算冲击 (随机) 负荷所需的蓄电池的容量, 即加上  $C_{c1} = K_{rel} I_R / K_{cR}$ , 即得出直流系统在整个事故放电过程中 (包括随机负荷的作

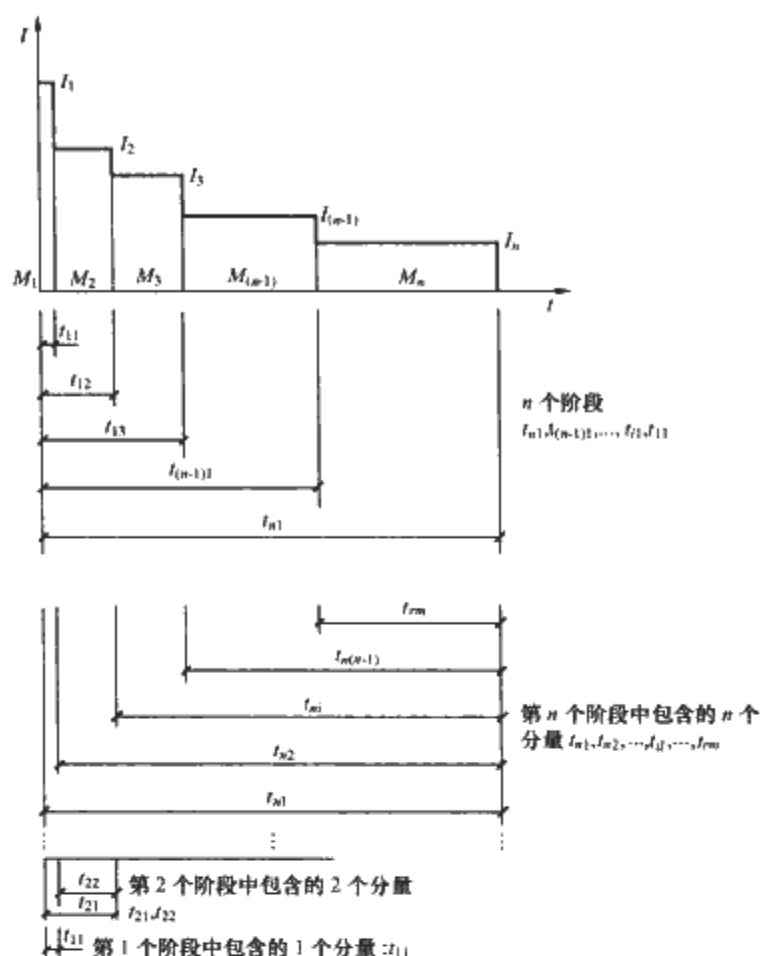


图 4.6-7 对阶梯负荷电流换算法的说明

对阶段  $a$  内所需要的蓄电池容量为

$$C_{ca} = K_{rel} \sum_{i=1}^a [I_i - I_{(i-1)}] / K_{c(ai)} \quad \left| \begin{array}{l} a=1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (4.6-24)$$

对  $n$  个阶段的计算容量取大值, 即得到蓄电池的计算容量

$$C_c \geq \max_{a=1}^n C_{ca} \quad (4.6-25)$$

式中, 容量换算系数  $K_{c(ai)}$  根据相应的放电时间  $t_{ai}$  和给定的放电终止电压  $U_d$  用容量换算系数曲线确定, 即

$$(U_d, t_{ai}) \Rightarrow K_{c(ai)} \quad \left| \begin{array}{l} i=1, 2, \dots, a \text{ 分段号} \\ a=1, 2, \dots, n \text{ 阶段号} \end{array} \right. \quad (4.6-26)$$

$I_i, I_{(i-1)}$  为时段  $M_i, M_{(i-1)}$  内的放电电流,  $A$ ;  $K_{rel}$  为可靠系数, 一般取  $K_{rel} = 1.4$ 。

为说明  $C_{ca}$  的计算方法, 下面作为例子, 列出了  $n=2, 3, 5$  三种情况下式 (4.6-24) 的展开式。

$$\left. \begin{array}{l} C_{c1} = K_{rel} I_1 / K_{c11} \\ C_{c2} = K_{rel} [I_1 / K_{c21} + 1 / K_{c22} (I_2 - I_1)] \end{array} \right\} \quad (4.6-27)$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{c1} = K_{rel} I_1 / K_{c11} \\ C_{c2} = K_{rel} [I_1 / K_{c21} + 1 / K_{c22} (I_2 - I_1)] \\ C_{c3} = K_{rel} [I_1 / K_{c31} + (1 / K_{c32}) (I_2 - I_1) + (1 / K_{c33}) (I_3 - I_2)] \end{array} \right\} \quad (4.6-28)$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{c1} = K_{rel} I_1 / K_{c11} \\ C_{c2} = K_{rel} [I_1 / K_{c21} + (1 / K_{c22}) (I_2 - I_1)] \\ C_{c3} = K_{rel} [I_1 / K_{c31} + (1 / K_{c32}) (I_2 - I_1) + (1 / K_{c33}) (I_3 - I_2)] \\ C_{c4} = K_{rel} [I_1 / K_{c41} + (1 / K_{c42}) (I_2 - I_1) + (1 / K_{c43}) (I_3 - I_2) + (1 / K_{c44}) (I_4 - I_3)] \\ C_{c5} = K_{rel} [I_1 / K_{c51} + (1 / K_{c52}) (I_2 - I_1) + (1 / K_{c53}) (I_3 - I_2) + (1 / K_{c54}) (I_4 - I_3) + (1 / K_{c55}) (I_5 - I_4)] \end{array} \right\} \quad (4.6-29)$$

用)所需的蓄电池容量。

一般来说,  $C_{ca}$  值须对  $n$  个阶段进行计算, 但实际情况下, 有时只需计算  $a=1, a=n$  和到某一放电电流大且放电



时较长时段  $\alpha$  的蓄电池计算容量, 然后取三者中的大值即可。例如, 式(4.6-29)表示的  $n=5$  的情况下, 若第三时段的电流  $I_3$  和时间  $t_3$  较长, 则只计算  $C_{c1}$ 、 $C_{c3}$  和  $C_{c5}$ , 然后取其中的最大值即可。

③ 表格计算方法。  
表格计算法是阶梯负荷法的一种表达方式, 根据式

(4.6-23)制成表 4.6-11 的通用格式, 其计算过程如下:  
a. 绘出直流负荷示意图。  
b. 列出放电时段( $M_i$ )、放电电流( $I_i$ )和持续时间( $t_i$ )。  
c. 将负荷电流( $I_i$ )填入表 4.6-11 的(2)栏中。  
d. 计算负荷电流变化( $I_i - I_{i-1}$ ), 并填入表 4.6-11(3)栏中。

表 4.6-11 阶梯负荷计算						
单个蓄电池终止电压 (V)			选用蓄电池型号:		最低环境温度 (℃)	
(1) 分段 序号	(2) 负荷 (A)	(3) 负荷变化 (A)	(4) 放电时间 (时段) (min)	(5) 放电分段时间 $t_{\omega}$ (min)	(6) 容量换算系数 $K_{c(\alpha)}$	(7) 各分段和阶段所需容量 (A·h)
第 1 阶段, 如果 $I_2 > I_1$ 见第 2 阶段						
1	$I_1 =$	$I_1 - 0 =$	$M_1 = 1$	$t_{11} = M_1 = 1$		
第 1 阶段					总 计	
第 2 阶段, 如果 $I_3 > I_2$ 见第 3 阶段						
1	$I_1 =$	$I_1 - 0 =$	$M_1 =$	$t_{21} = M_1 + M_2 =$		
2	$I_2 =$	$I_2 - I_1 =$	$M_2 =$	$t_{22} = M_2 =$		
第 2 阶段					总 计	
第 3 阶段, 如果 $I_4 > I_3$ 见第 4 阶段						
1	$I_1 =$	$I_1 - 0 =$	$M_1 =$	$t_{31} = M_1 + M_2 + M_3 =$		
2	$I_2 =$	$I_2 - I_1 =$	$M_2 =$	$t_{32} = M_2 + M_3 =$		
3	$I_3 =$	$I_3 - I_2 =$	$M_3 =$	$t_{33} = M_3 =$		
第 3 阶段					总 计	
第 4 阶段						
1	$I_1 =$	$I_1 - 0 =$	$M_1 =$	$T_{41} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 =$		
2	$I_2 =$	$I_2 - I_1 =$	$M_2 =$	$T_{42} = M_2 + M_3 + M_4 =$		
3	$I_3 =$	$I_3 - I_2 =$	$M_3 =$	$T_{43} = M_3 + M_4 =$		
4	$I_4 =$	$I_4 - I_3 =$	$M_4 =$	$T_{44} = M_4 =$		
第 4 阶段					分项合计	
					总 计	
随机负荷 (根据需要)						
R	$I_R$	$I_R - 0 =$	$M_R$	$t_R = M_R =$		

e. 计算各放电时段 ( $M_i$ ) 和放电阶段的终止时间( $t_{\omega}$ ): 表 4.6-11 中的(4)栏, 表示的是各阶段包含的时段。第一阶段的时段为  $M_1$ ; 第二阶段的时段为  $M_1$  和  $M_2$ ; 第三阶段的时段为  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , ...依次类推。  
表 4.6-11(5)栏中的放电阶段( $t_{\omega}$ )是(4)栏中相应时段  $M_i$ 之和, 按式(4.6-23)计算。  
f. 根据  $t_{\omega}$  和终止电压值查出相应的容量换算系数。  
g. 计算每一放电分段和阶段所需的蓄电池容量, 每一阶段所需容量为本阶段内各分段容量的代数和。  
h. 计算随机负荷所需容量, 并与第一阶段(1min)以外的其他各段中最大计算容量相加, 然后再与第一阶段所需容量相比较, 取其大者乘可靠系数( $K_k=1.4$ )之后, 即求得蓄

电池计算容量。最后选用不小于计算容量的蓄电池。  
3) 小容量蓄电池容量的计算  
对于中小型变电所需要的蓄电池容量较小, 其事故放电计算时间一般为  $t_s=1h$ , 而在事故放电过程中, 可以认为放电电流  $I_s$  不变。对断路器合闸等冲击电流可能在放电初期或末期出现。  
事故负荷所需容量为  
$$C_{c(s)} = K_{rel} I_s / K_c$$
  
冲击负荷所需容量为  
$$C_{c(ch)} = K_{rel} I_{ch} / K_{ch}$$
  
式中,  $K_{rel}$  为可靠系数, 取 1.4;  $I_s$  为 1h 事故放电电流, A;  $I_{ch}$  为冲击放电电流, A;  $K_c$  为容量换算系数;  $K_{ch}$  为冲击

系数。

当冲击放电电流在事故放电初期出现时,蓄电池的容量选择应取事故负荷与冲击负荷所需容量的较大值。在冲击放电电流在事故末期出现时,对蓄电池容量则取上述两种状态下容量之和。

对于小容量蓄电池,多采用镉镍电池或阀控式铅酸蓄电池。采用镉电池时注意妥善回收处理,注意环保。

对于一般工业与民用建筑所用直流系统多采用直流成套设备,并可按以上相关章节计算方法来确定蓄电池的容量。

#### (5) 充电装置的选择

蓄电池的充电装置常用的有相控整流装置和高频开关整流装置。

1) 对充电装置的基本要求。充电装置应为长期连续工作制,应满足蓄电池组的充电和浮充电要求,且应有稳压、稳流及限流特性以及应具有自动和手动浮充电、均衡充电和稳流、限流充电等功能。

充电装置的交流电源输入宜为三相制,额定频率 50Hz,额定电压  $380\text{V} \pm 10\%$  或  $220\text{V} \pm 10\%$ 。

当一组蓄电池配置一套充电装置的直流系统、充电装置的交流电源宜设两个回路,运行中一回路工作,另一回路备用。

对高频开关电源的模块选择和配置要求见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 附录内容。

高频开关电源模块基本要求应考虑在多个模块并联工作状态下运行时各模块承受的电流应能做到自动均分负载,实现均流;在两台以上模块并联运行时,输出的直流电流为额定值时,均流不平衡度应不大于额定电流值的  $\pm 5\%$ 。其功率因数不小于 0.9。

高频开关电源的谐波含量,在模块输入端施加的交流电源符合标称电压和额定频率要求时,在交流输入端产生的各高次谐波电流含有率应不大于 30%。

高频开关电源装置的谐波干扰、电磁兼容均流系数、功率因数等指标应符合有关标准。

充电装置的主要技术参数应满足表 4.6-12 要求。

表 4.6-12 充电装置的主要技术参数表

项 目	相 控 型		高频开关
	I 型	II 型	
稳压精度 (%)	$\leq \pm 0.5$	$\leq \pm 1$	$\leq \pm 0.5$
稳流精度 (%)	$\leq \pm 1$	$\leq \pm 2$	$\leq \pm 1$
波纹系数 (%)	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 0.5$
效率 (%)	$\geq 75$	$\geq 75$	$\geq 90$
噪声 (dB)	$< 60$	$< 60$	$< 55$

#### 2) 充电装置的选择

① 充电装置额定电流的选择应满足下列条件:

a. 满足浮充电流要求

$$I_f = 0.01I_{10} + I_{jc} \quad (4.6-30)$$

b. 满足初充电要求

铅酸蓄电池

$$I_f = (1 \sim 1.25)I_{10} \quad (4.6-31)$$

c. 满足均衡充电要求

铅酸蓄电池

$$I_f = (1 \sim 1.25)I_{10} + I_{jc} \quad (4.6-32)$$

式中,  $I_f$  为充电装置额定电流, A;  $I_{jc}$  为直流系统的经常负荷电流, A;  $I_{10}$  ( $I_5$ ) 为蓄电池 10h (5h) 放电率放电电流, A·h。

浮充电的输出电流应按经常负荷电流与蓄电池自放电流之和选择。

② 充电装置输出电压选择: 充电装置的输出电压调节范围应满足蓄电池放电末期和充电末期电压的要求。

浮充电装置直流侧的长期工作电压对于 220V 和 110V 蓄电池组分别为 230V 和 115V, 其额定电压为

$$U_f = nU_{em} \quad (4.6-33)$$

式中,  $U_f$  为充电装置的额定电压, V;  $n$  为蓄电池组单体个数;  $U_{em}$  为充电末期单体蓄电池电压, V (防酸式铅酸蓄电池为 2.70V, 阀控式铅酸蓄电池为 2.35~2.4V)。

③ 蓄电池充电装置参数选择见表 4.6-13 和表 4.6-14。

表 4.6-13 蓄电池充电装置参数选择表一

交流输入	相 数		三相 (单相)	
	额定频率 (Hz)		50	
直流输出	额定电压 (V)		$380 \pm 10\%$ ( $220 \pm 10\%$ )	
	额定值	电压 (V)	220/230	110/115
		电流 (A)	(3) 5 (8) 10 (15) 20 (30) (40) 50 (80) 100	
	充电	电压 (V)	300 (360)	150 (180)
		电压调节范围 (V)	180~315 (360)	90~160 (180)
		稳流精度 (%)	—	
		负荷变动范围 (%)	10~100	

表 4.6-14 蓄电池充电装置参数选择表二

交流输入	相 数		三相 (单相)	
	额定频率 (Hz)		50	
直流输出	额定电压 (V)		$380 \pm 10\%$ ( $220 \pm 10\%$ )	
	浮充电压	电压 (V)	230	115
		电压调节范围 (V)	220~240	110~120
		稳压精度 (%)	—	
		负荷变动范围 (%)	0~100	
	均衡充电	电压 (V)	246	123
		电压调节范围 (V)	230~264	115~130
		稳压精度 (%)	—	
		负荷调节范围 (%)	0~100	
	手动调节范围 (V)		0~315 (360)	0~160 (180)
	纹波系数 (%)		—	

注 1. 括号内为非推荐值。  
2. 稳压精度、稳流精度、纹波系数的数值详见表 4.6-12。  
3. 高频开关充电装置的谐波干扰、电磁兼容、均流系数、功率因数等指标应符合有关标准。

#### (6) 直流屏上的设备及导体选择

1) 直流屏和充电装置屏宜采用柜式加强型结构, 其防护等级不低于 IP20。直流屏正面仪表板应能开启, 屏后宜开门, 前门下部和后门上部宜设百叶窗。外形尺寸宜采用 800mm×600mm×2200mm (宽×深×高)。

2) 直流屏主母线宜采用阻燃绝缘铜母线, 应按 1h 放电率或充电设备的额定电流计算长期允许载流量, 并应进行短路电流热稳定检验和按短时最大负荷校验, 其温度不超过绝缘体的允许事故过负荷温度。单体蓄电池之间宜采用绝缘软导线连接。

蓄电池出口回路的保护电器的额定电流, 应按蓄电池 1h 放电率电流再加大一级选择, 并应与直流馈线回路保护

电器相配合。蓄电池回路设备选择见表 4.6-15。

表 4.6-15 铅酸蓄电池回路设备选择

蓄电池容量 (Ah)	100	200	300	400	500	600
熔断器及隔离 开关额定电流 (A)	200			400		
断路器额定电流 (A)	225		400		630	
电流测量范围 (A)	200~0~200		300~0~300		500~0~500	
主母线铜导体规格 (宽×高)(mm×mm)	50×4			60×6		

3) 直流系统操作电器。直流屏(柜)主回路及馈线回路的操作设备宜采用断路器或隔离开关。操作电器的选择应按回路额定电压和额定电流选择。

额定电压选择: 额定电压应大于或等于回路的工作电压。

额定电流选择: 额定电流按下式选择

$$I_r \geq K_{rel} I_{lm} \quad (4.6-34)$$

式中,  $I_{lm}$  为最大负荷电流, 对蓄电池回路,  $I_{lm}$  取  $I_s$  (h) 时间放电电流和蓄电池 1h 放电电流两者中的较大值, 通常取后者;  $I_s$  为事故放电时间, 对充电、浮充电回路。  $I_{lm}$  为充电设备的额定电流;  $K_{rel}$  为可靠系数, 一般取  $K_{rel} = 1.1 \sim 1.2$ 。

目前, 常用的隔离开关型号有 HD13、HS13 型、Q 系列。熔断器式刀开关型号有 HR、QS 系列和 SF 系列。

4) 直流系统保护电器。直流屏(柜)主回路及馈线回路的保护宜采用断路器和熔断器, 其额定参数和类型的选择如下:

① 额定电压选择。额定电压应大于或等于回路的工作电压。

② 额定电流  $I_r$  选择。

a. 对于控制信号回路馈线额定电流计算式为

$$I_r = K_{\infty} I_{qm} \quad (4.6-35)$$

式中,  $I_{qm}$  为馈线回路最大工作电流, A;  $K_{\infty}$  为配合系数, 取 0.65~0.7。

b. 电磁型操动机构合闸线圈的馈线回路额定电流计算式为

$$I_r = K_{\infty} I_{yc} \quad (4.6-36)$$

式中,  $I_{yc}$  为合闸线圈额定电流, A;  $K_{\infty}$  为配合系数, 取 0.2~0.3。

根据上述计算结果, 校验在合闸电流下的断路器过载脱扣时间或熔体的熔断时间是否大于断路器固有合闸时间, 否则可加大一级选择。

c. 断路器应选择直流空气断路器, 其过载保护应满足干线较支线大 2~4 级的要求。依据短路电流计算, 还应保证短路时的选择性及可靠动作。

d. 熔断器的主要型号有 RT12 等系列, 目前应用较多的是 NT 型。

断路器的主要型号有 GM 型、TO(TG) 等系列。GM 型直流塑壳断路器目前应用比较广泛, 实现了保护电器和操作电器的合一。

5) 电缆截面积应按载流量和允许电压降的要求选择。

① 电缆的载流量应不小于回路计算电流。不同性质回路的计算电流见表 4.6-16。

表 4.6-16 不同性质回路的计算电流 ( $I_c$ )

回路名称	回路计算电流 $I_c$ (A)
蓄电池回路	蓄电池 1h 放电率电流或事故放电初期 (1min) 放电电流的大者
充电装置输出回路	1.2 倍充电装置输出额定电流
直流负荷馈线	电磁操动机构回路
	交流不停电电源
	控制、照明回路
	0.5 倍合闸线圈额定电流
	额定容量下逆变器输入直流电流
	最大持续电流或 0.8 倍统计电流

② 按允许电压降计算电缆截面积如下

$$S_c = \rho \times 2LI_r / \Delta U \quad (4.6-37)$$

式中,  $I_r$  为回路计算电流, A;  $S_c$  为电缆计算截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $\rho$  为电阻率, 对于铜导体  $\rho = 0.0184 \Omega \cdot \text{m} \times 10^{-6}$ , 对于铝导体  $\rho = 0.031 \Omega \cdot \text{m} \times 10^{-6}$ ;  $L$  为电缆长度, m;  $\Delta U$  为回路允许电压降, V, 参见表 4.6-17。

表 4.6-17 不同回路允许电压降  $\Delta U$  参考值

回路名称	允许电压降 $\Delta U$ (V)
蓄电池回路	$\leq 1\% U_r$
充电装置输出回路	$\leq 1\% U_r$
直流负荷馈线	电磁操动机构回路
	交流不停电电源
	控制/照明回路
	$\leq 4\% U_r$
	$\leq 4\% U_r$
	$\leq 5\% U_r$

注 严格地说, 不同回路允许电压降 ( $\Delta U$ ) 应根据蓄电池容量选择中, 电压水平计算的结果来确定。

6) 蓄电池与直流屏之间的联络电缆截面积选择应符合下列规定:

当蓄电池引出线为电缆时, 正负极引出线应采用单芯电缆。当选用多芯电缆时, 其载流量可按同截面积单芯电缆计算。

① 蓄电池与直流屏之间的联络电缆长期允许载流量的选择, 应按蓄电池 1h 放电率电流或事故放电初期 1min 放电电流, 两者取大者考虑。电压降应不大于计算允许值, 宜取额定电压的 1%。

② 直流屏与直流分电屏电缆截面积应根据最大负荷电流选择。电压降宜取额定电压的 0.5%。

7) 合闸回路电缆截面积的选择应符合下列规定:

① 当蓄电池浮充运行时, 应保证最远 1 台断路器可靠合闸所需的电压 (合闸网络为环状供电时, 应按任一电源侧电缆断开的条件选择)。

② 当事故放电直流母线电压在最低电压值时, 应保证恢复供电的断路器能可靠合闸所需的电压。

8) 由直流屏引出的控制、信号馈线应选择铜芯电缆, 其截面积不宜小于  $4\text{mm}^2$ , 电压降应不超过直流母线额定电压的 5%。

(7) GZS10 系列直流电源柜

GZS10 系列直流电源柜是近年来研制成功的直流电源成套设备, 其原理接线如图 4.6-8 和图 4.6-9 所示。它由智能式充电装置、蓄电池组及其运行监测装置、绝缘监察装置、自动电压调整装置、其他自动装置及馈电回路组成。

1) 智能式充电装置。智能式充电装置有两种形式, KCVA 相控整流装置和高频开关整流装置。

① KCVA 相控整流装置原理框图如图 4.6-10 所示。KCVA 系列全自动充电装置主回路采用三相全控桥。三相电压经隔离变压器降压后, 由三相全控桥整流给负载提供直

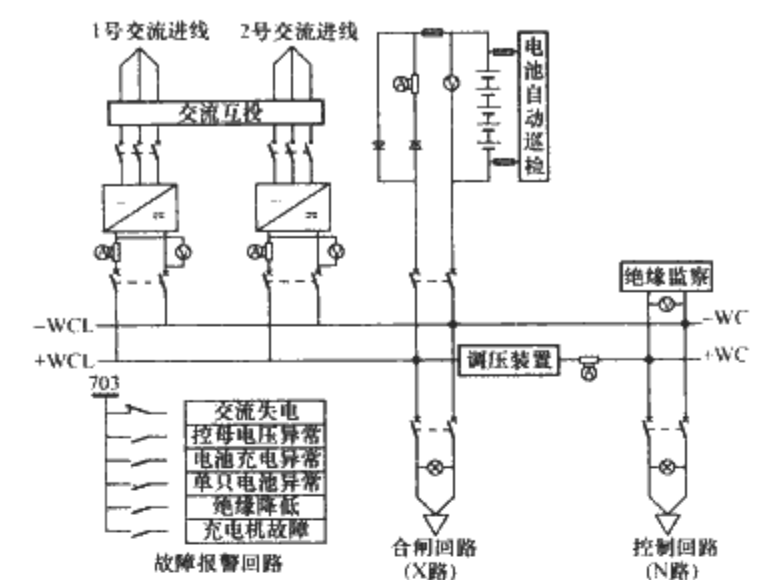


图 4.6-8 相控型整流器直流系统接线图

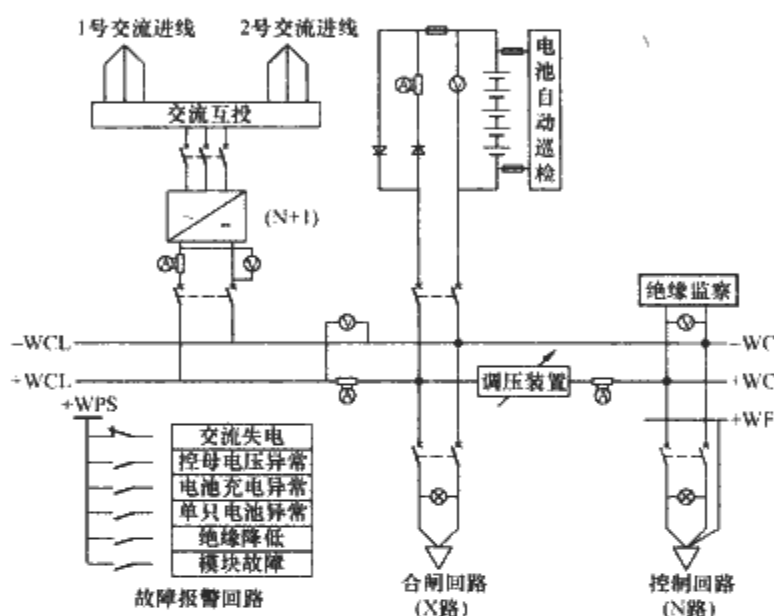


图 4.6-9 高频开关整流直流系统接线图

流电源。三相全控桥的控制由三相电压引入三相同步电源，经脉冲发生器、移相控制器、触发电路三个环节产生晶闸管触发脉冲，移相控制器根据电流反馈信号与电压反馈信号改变触发脉冲的角度，从而控制电压。电流采样用分流器，电压采样用电阻，并配有滤波器。控制回路以移相触发器和运算放大器为核心，采用双环反馈，内环为电流环，外环为电压环。电压环的输出经电阻分压后作为电源环的给定，当电压反馈信号较给定信号低时，电压环输出接近电源电压，此时电池经充电电压升至给定电压时，电压环输出逐渐降低，相当于电流环的给定降低，电压环通过电流环控制移相触发器达到控制稳压的作用。

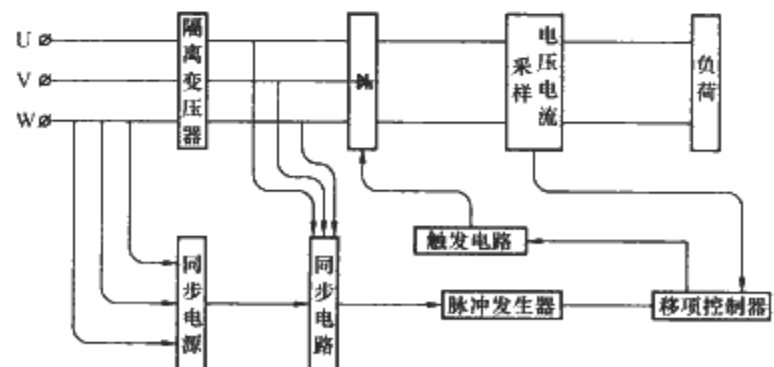


图 4.6-10 KCVA 相控整流装置原理框图

② 高频开关整流装置。高频开关整流装置原理如框图 4.6-11 所示。其中高频开关整流模块采用三相三线制 380V 交流电平衡输入，无中性线电流损耗。在交流输入端，采用

先进的尖峰抑制器件、EMI 滤波电路及防雷保护，由全桥工频整流电路将三相交流电整流为高压直流电，再经全桥电路高频逆变为高频交流电。通过高频变压器的变压和隔离后，经高频整流 LC 滤波及 EMI 滤波，得到所需的电压和电流。控制电路采用 PWM 控制电气隔离单片机脉宽调制电路及软开关谐振回路，根据电网和负载的变化，自动调节高频开关的脉冲宽度和移相角，使输出电压电流在任何允许的情况下都能保持稳定。高频开关电源整流装置的选择见下述两种方式。

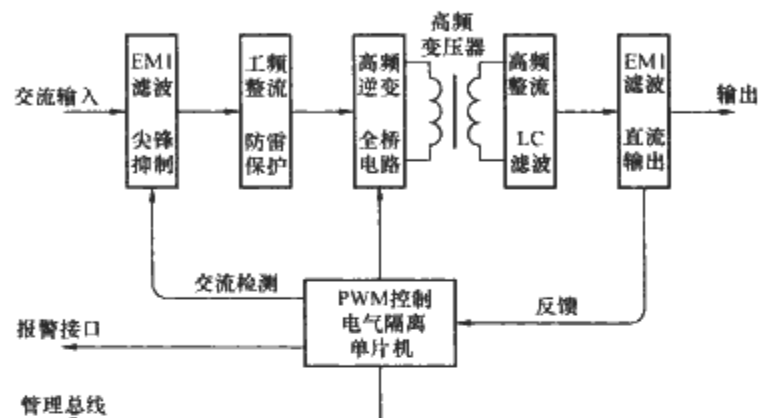


图 4.6-11 高频开关整流装置原理方框图

方式 1：每组蓄电池配置一组高频开关电源模块，其模块选择方法如下

$$n = n_1 + n_2$$

基本模块的数量

铅酸蓄电池为

$$n_1 = 1.0I_{10}/I_{me} \sim 1.25I_{10}/I_{me} + I_{jc}/I_{me}$$

镉镍碱性蓄电池为

$$n_1 = 1.0I_5/I_{me} \sim 1.25I_5/I_{me} + I_{jc}/I_{me}$$

附加模块的数量为

$$n_2 = 1 \text{ (当 } n_1 \leq 6 \text{ 时)}$$

$$n_2 = 1 \text{ (当 } n_1 \geq 7 \text{ 时)}$$

式中， $I_{10}$  为铅酸蓄电池 10h 放电率电流，A； $I_5$  为镉镍碱性蓄电池 5h 放电率电流，A； $I_{jc}$  为经常负荷电流，A； $I_{me}$  为单个模块额定电流，A； $n$  为高频开关电源模块选择的数量，当模块选择数量不为整数时，可取邻近值，但模块数量宜不小于 3。

方式 2：一组蓄电池配置二组高频开关电源模块或二组蓄电池配置三组高频开关电源模块，其模块选择方法如下：

铅酸蓄电池为

$$n = I_{10}/I_{me}$$

镉镍碱性蓄电池为

$$n = I_5/I_{me}$$

2) 母线调压装置。母线调压装置分为两种，一种是采用硅链，如图 4.6-12(a) 所示，利用硅链正向压降，采取与中间继电器配合的方式，可实现硅堆自动投切，以达到保证控制母线电压稳定的目的；另一种是采用高频开关式降压斩波器，如图 4.6-12(b) 所示，采用 220kHz 高频斩波技术，模块输出可实现自动无级调节，同时并一条备用硅链通道，当斩波器发生故障，可通过备用通道进行调压。

3) 蓄电池及其运行监测装置。蓄电池组一般采用阀控式铅酸蓄电池，也可采用其他类型蓄电池。运行监测装置可实现蓄电池组总电压单只蓄电池电压的自动、手动巡检，实现电压过高、过低报警及浮充电流监测、蓄电池容量的在线监测及异常报警。

4) 绝缘监察装置。绝缘监察装置由绝缘监察继电器、

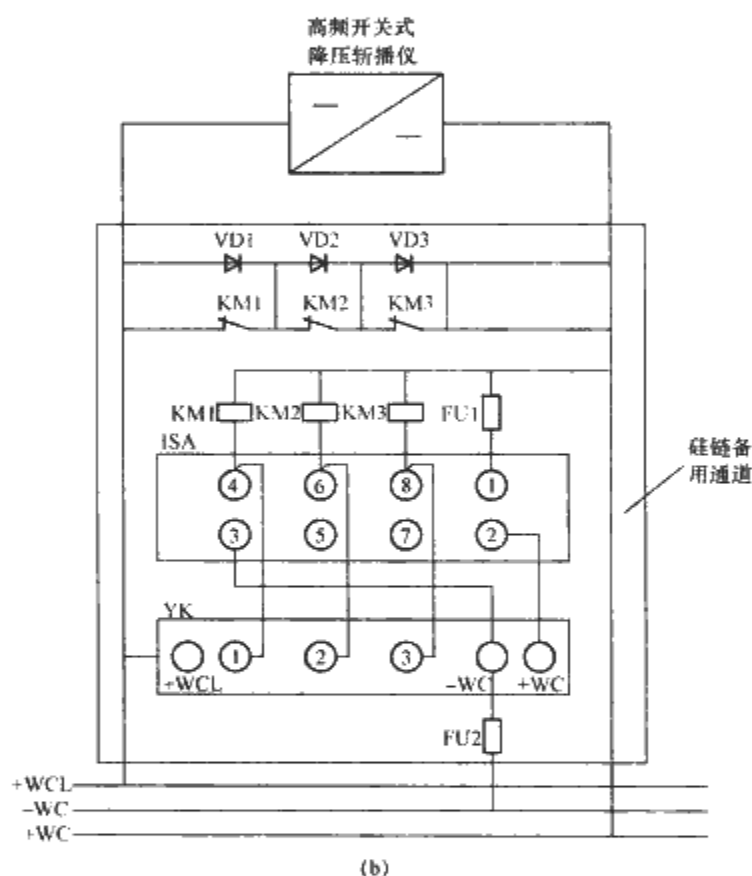
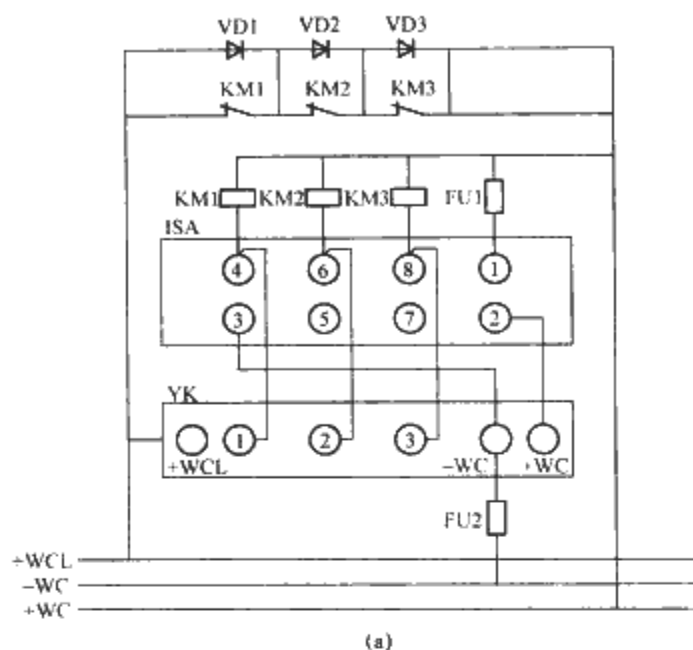


图 4.6-12 调压装置原理接线图  
(a) 硅链调压装置；(b) 高频开关调压装置

开关和表计组成。平时表计显示控制母线电压，继电器监视馈线的接线情况。当母线出现接地后应自动报警，平时可用切换开关检测母线对地电压。其原理接线如图 4.6-13 所示。

## 2.5 交流操作电源

继电保护为交流操作时，保护跳闸通常采用去分流方式，即靠断路器弹簧操动机构中的过电流脱扣器直接跳闸，能源来自电流互感器而不需要另外的电源。因此，交流操作电源主要是供给控制、合闸和分励信号等回路使用。交流操作的电源为交流 220V，它有以下两种形式。

### (1) 常用的交流操作系统

常用的交流操作电源接线，如图 4.6-14 所示，图中两路电源（工作和备用）可以进行切换，其中一路由电压互感器经 100/220V 变压器供给电源，而另一路由所用变压器或其他低压线路经 220/220V 变压器（也可由另一段母线电压

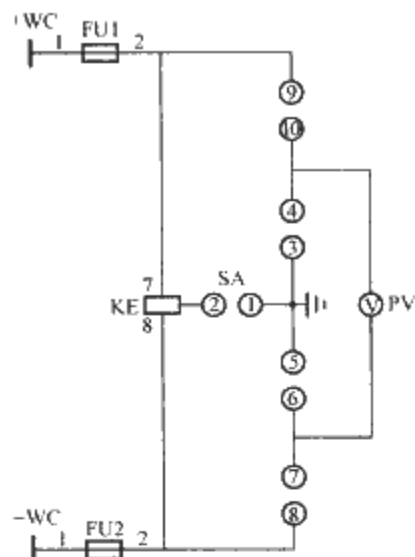


图 4.6-13 绝缘监察装置原理接线图  
KE—绝缘监察继电器；SA—转换开关；  
LW12—16Z/4.0726.3；  
PV—直流电压表；FU1、FU2—熔断器

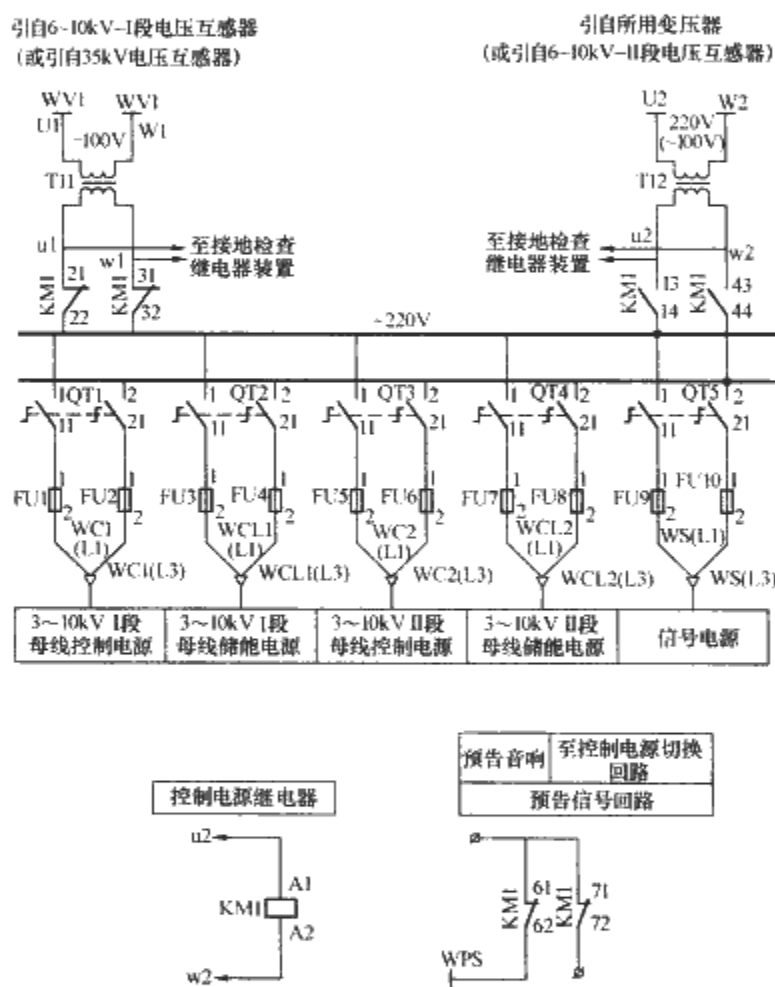


图 4.6-14 交流操作电源接线图  
T11、T12—中间变压器 BK—400 型；KM1 中间继电器  
CA2—DN122MLA1—D22 型；QT1~5 组合开关；  
HZ15—10/20J 型 FU1~FU10—熔断器；  
RL6—25/10 型

互感器经 100/220V 变压器）供给电源。两路电源中的任一路均可作为工作电源，另一路作为备用电源。控制电源采用不接地系统，并设有绝缘检查装置。

### (2) 带 UPS 的交流操作电源

1) 概述。由于上述方式获得的电源是取自系统电压，当被保护元件发生短路故障时，短路电流很大，而电压却很低，断路器将会失去控制、信号、合闸以及分励脱扣的电源。所以交流操作的电源可靠性较低。随着交流不间断电源技术的发展和成本的降低，使交流操作应用交流不间断电源（UPS）成为可能，这样就增加了交流操作电源的可靠性。

由于操作电源比较可靠,继电保护则可以采用分励脱扣器线圈跳闸的保护方式,不再用电源脱扣器线圈跳闸的保护方式,从而可免去交流操作继电保护两项特殊的整定计算,即继电器强力切换接点及容量检验和脱扣器线圈动作可靠性校验。带 UPS 的交流操作电源接线如图 4.6-16 所示。

从图中可以看到,当系统电源正常时,由系统电源小母线向储能回路、控制及信号回路(通过 UPS 电源)供电,同时可向 UPS 电源进行充电或浮充电。当系统发生故障时,外电源消失,由 UPS 电源向控制回路及信号回路供电,使断路器可靠跳闸并发生信号。

## 2) UPS 电源的选择。

① UPS 的形式及工作原理简述。小容量(5kVA 以下)的 UPS 电源分为后备式和在线式两种。作为交流操作的控制、保护、信号电源应选用在线式的 UPS 电源,其工作原理如图 4.6-15 所示。

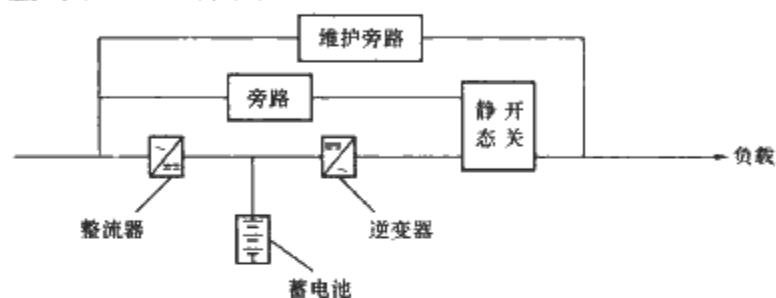


图 4.6-15 在线式 UPS 原理框图

UPS 首先由系统电源供电,经调制、整流、稳压将交流 220V 转换为直流,并给蓄电池充电,然后由逆变器将直流电转换成交流电,并保证输出电压及频率能满足负荷的要求,同时控制逻辑与静态开关做不间断的通信,跟踪旁路输出电压。当系统电源发生故障时,整流器不再输出任何电源,由蓄电池放电给逆变器,再由逆变器将蓄电池放出的直流电转换成交流电。若逆变器出现故障、过载等情况时,逆变器自动与负荷断开,通过旁路向负荷供电。如 UPS 系统需要进行维护,则由维护旁路向负荷供电。

② UPS 电源容量的选择。当系统电源发生故障时,由 UPS 提供控制、操作及信号电源,而不考虑储能电源的容量,所以 UPS 电源容量主要考虑以下几个方面的负荷:

- 由系统电源供电时,正常的控制操作及信号回路所消耗的容量  $C_1$ 。
- 当系统发生故障时,两台断路器同时分闸所消耗的容量  $C_2$ 。
- 系统电源正常供电或发生故障时一台断路器的合闸电磁铁的额定容量  $C_3$ 。

正常操作时所需容量为

$$C = K_{rel}(C_1 + C_3)$$

事故操作时所需容量为

$$C' = K_{rel}(C_2 + C_3)$$

式中,  $K_{rel}$  为可靠系数取 1.1~1.2。

取两式中较大者作为 UPS 的选择容量。考虑到交流操

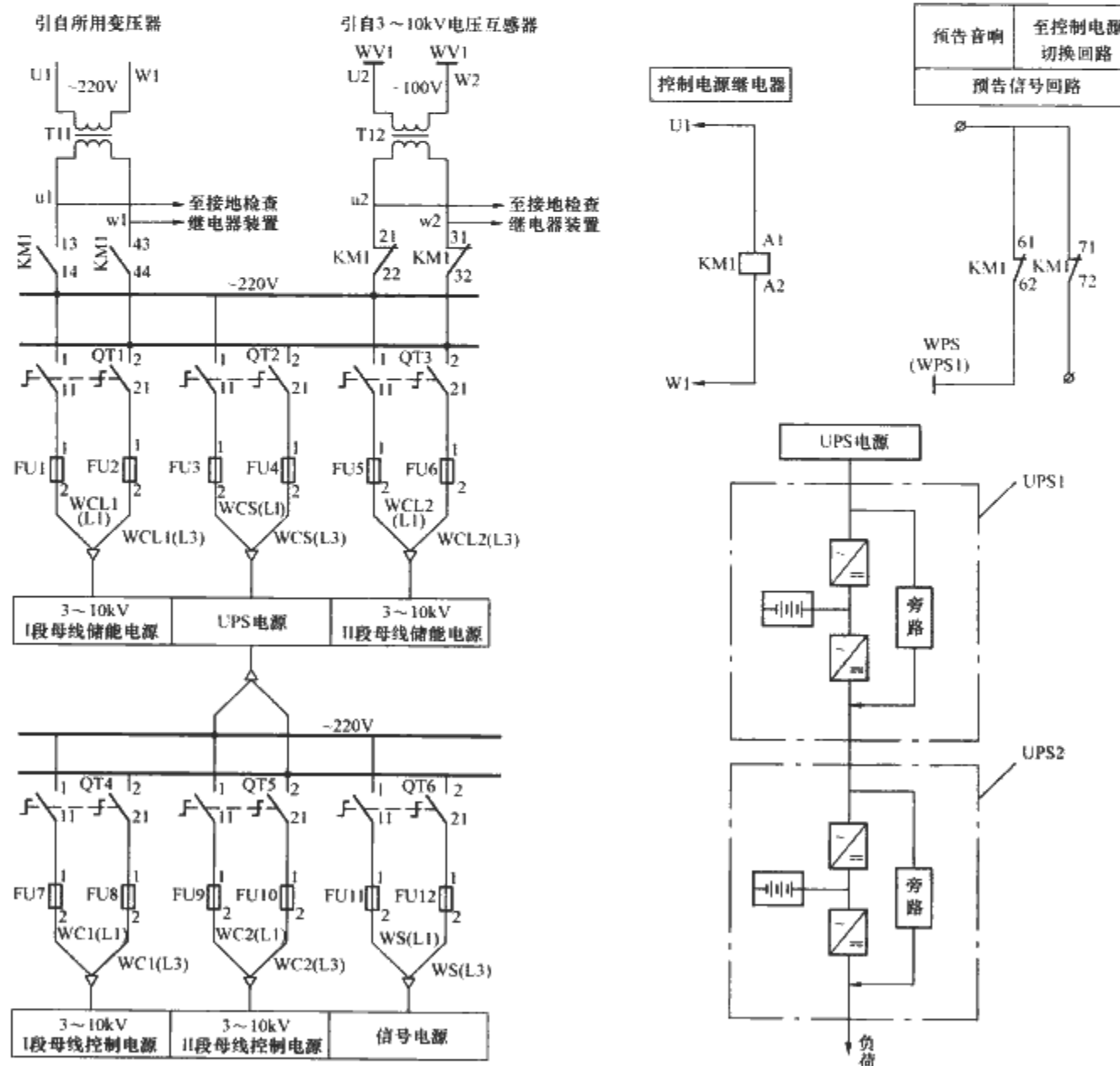


图 4.6-16 带 UPS 交流操作电源接线图

T11、T12—中间变压器; KM1—中间断路器; QT1~QT6—组合开关; FU1~FU12—熔断器



作的经济性和实用性，UPS 电源的容量不宜超过 3kVA。

带 UPS 电源方案一般适用于民用建筑供电系统中，当一次接线简单且断路器台数不多时选用，同时亦不考虑分段断路器自投及出线自动重合闸装置。UPS 电源作为开关柜的控制、保护及信号电源，对配电装置正确动作，尽快切除故障回路起着极为重要的作用。因此，UPS 电源本身的可靠性及运行维护的合理性非常重要。为了进一步增加 UPS 电源的可靠性，可使用两套 UPS 电源装置。两套 UPS 装置可并联也可串联使用。当两套 UPS 装置并联时，需采取并联闭锁措施。

③ UPS 电源系列技术参数。UPS 电源的输出电流等级和输出容量的系列技术参数，见表 4.6-18。

表 4.6-18                      UPS 技术参数表

输出电流 (A)	输出容量 (kVA)	
	单相 (220V)	三相 (380V)
0.5	0.11	—
1.0	0.22	—
2.0	0.44	1.32
5.0	1.10	3.30
10.0	2.20	6.60
15.0	3.30	9.90
20.0	4.40	13.2
30.0	6.60	19.8

## 第7章 电力系统中性点接地

### 1 简介

电力系统中性点接地是一个比较复杂的技术问题,它与系统的供电可靠性、人身安全、设备安全、绝缘水平、过电压保护、继电保护和自动装置的配置及动作状态、系统稳定及接地装置等问题有密切关系。

电力系统的中性点是指电力系统三相交流发电机、变压器接成星形的公共点,而电力系统中性点与大地间的电气连接方式,称之为电力系统中性点接地方式。

电力系统中性点接地方式是保证系统运行、系统安全、经济有效运行的基础。

### 2 电力系统中性点接地方式分类

电力系统中性点接地方式分为中性点不接地、中性点经电阻接地、中性点经消弧线圈接地(谐振接地)以及中性点直接接地等。

根据电力系统主要运行特征,将电力系统按中性点接地方式特征分为两大类,非有效接地系统或小电流接地系统和有效接地系统或大电流接地系统。

#### 2.1 非有效接地系统或小电流接地系统

非有效接地系统即中性点不接地或经消弧线圈接地,中性点经高阻抗接地。这几种中性点接地方式的接地电流均被控制在比较小的数值。

非有效接地系统的零序电抗( $X_0$ )与正序电抗( $X_1$ )的比值( $X_0/X_1$ ) $>3$ ,而零序电阻( $r_0$ )与正序电抗( $X_1$ )的比值( $r_0/X_1$ ) $>1$ 当发生单相接地故障时的对地稳态电压可能达到残压值。

##### 2.1.1 中性点不接地系统

中性点不接地不能理解为中性点的零序阻抗为无限大。中性点不接地是指接地是经过集中于电力变压器中性点的等值容抗接地的,该容抗是由电网中架空线路、电缆线路、电动机和变压器绕组等对地耦合电容所组成。

当中性点不接地系统正常运行时,三相电源电压是对称的,由于导线间分布电容的存在,各绝缘对地均有泄漏电导,因此正常运行时,容抗上均有电流。中性点不接地系统正常运行时,各相对地电流的相量和为零。中性点不接地系统的正常运行状态如图4.7-1所示。

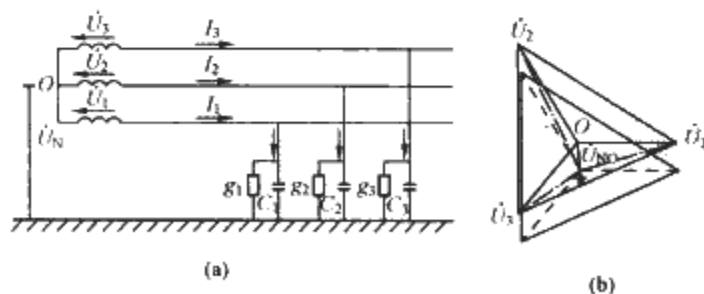


图 4.7-1 中性点不接地系统的正常运行状态

(a) 原理接线图; (b) 电压相量图

由于单相接地时,输电线路的导线、电机、电器的导电

部分的各相间存在分布电容,各相对地存在着泄漏电导。因此当发生单相接地时,故障相的对地电压为零,非故障相电压升高为线电压,从图4.7-1(b)相量图中分析得知非故障相电压间相位差为 $60^\circ$ 。

中性点不接地系统中单相接地故障等效电路及相量分析如图4.7-2所示。

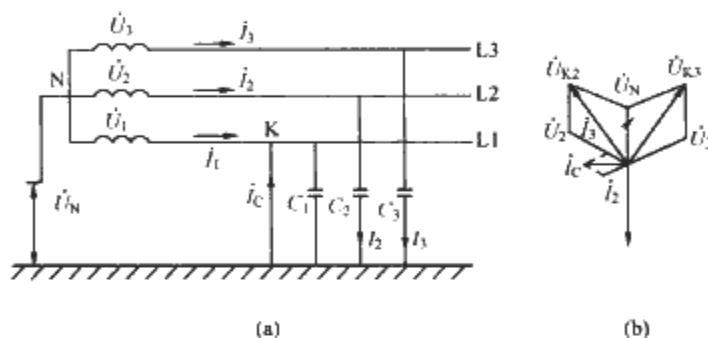


图 4.7-2 中性点不接地系统中单相接地故障

等效电路及相量分析

(a) 等效电路; (b) 相量图

从图中分析可知单相接地时,其故障点的电容电流

$$I_c = 3\omega C_0 L U_0 \quad (4.7-1)$$

式中, $C_0$ 为每相单位长度导线对地电容,F/km; $L$ 为线路长度,km; $U_0$ 为额定电压,V。

从式(4.7-1)可得出当线路较短时,电容电流 $I_c$ 不大,所引起的热效应为电网各元件的绝缘能承受,依据电力部门有关标准规定,允许电网带接地故障运行1~2h。

对于线路较短,电压较低如6~10kV系统电容电流较小,许多瞬时性接地故障产生的电弧能够自熄消弧,而不致于转化为稳定性的持续故障,因此能迅速恢复电网正常运行。

需要指出的是单相接地所产生的接地电流,在故障处形成的电弧的大小,与接地电流成正比,当电流较小时,电流过零值可自行熄灭,电网恢复正常运行,但当接地电流数值较大时,即可形成稳定的电弧,使得接地故障无法自行熄弧,可能导致两相或三相短路,一般接地电流在5~30A之间时,可能形成间歇性电弧,使非故障相过电压,过电压倍数可为运行电压的3倍,最高可达3.5倍。此时会对设备的绝缘造成极大的威胁。且对接地型电压互感器产生磁饱和,引起铁磁谐振,以致造成电压互感器烧毁。

对于单相接地电容电流很小的系统,继电保护的灵敏系数高,采用零序功率方向保护,其零序电压与零序电流的保护灵敏系数能满足要求,但对单相接地电容电流较大的电网,灵敏系数不够时,应进行计算。

该接地系统仅适用于单相接地电容电流较小(对6~10kV电网10A及以下),高压电动机和电缆均较少的电网。

##### 2.1.2 中性点经消弧线圈接地

中性点经消弧线圈接地(谐振接地)是在系统中性点加一个特殊电抗器接地的电力系统,在35~63kV及以下的电网中,接地电容电流超过规定值时,为防止单相接地时,产

生稳定或间歇性电弧,必须采取减小接地电流的措施,而采用中性点加消弧线圈的方案。

消弧线圈是一个具有铁心的电感线圈,其阻值小,电抗很大。当发生单相接地故障时,可产生一个电感电流,此值与电容电流值相近,方向相反。因此,可对电容电流进行补偿。

中性点经消弧线圈接地系统的运行方式可有全补偿、欠补偿及过补偿方式。

$$\begin{aligned} \text{全补偿方式} \quad I_L &= I_C \\ K &= I_L / I_C, K=1, \nu=0 \end{aligned} \quad (4.7-2)$$

式中,  $K$  为调谐度(补偿度);  $\nu$  为脱谐度,一般为 10% 左右。

全补偿方式的特点即接地电容电流将全部被补偿,接地处电流为零。

$$\text{欠补偿方式} \quad I_L < I_C, K < 1, \nu > 0$$

$$\text{过补偿方式} \quad I_L > I_C, K > 1, \nu < 0$$

中性点经消弧线圈接地系统往往采用过补偿运行方式,消弧线圈的感抗小于电网对地的容抗,  $X_L < X_C$ , 可调节消弧线圈分接头实现,由于补偿了一个比电容电流大的电感电流,且相差  $180^\circ$ ,则流过故障点的故障电流只剩过补偿后的较小的电感电流。该电流具备如下特点:

- 1) 电网有很高的运行可靠性,当补偿后电网发生单相接地故障时,相间电压仍对称,可维持电网继续供电,且单相接地故障电流很小,不会危及设备的绝缘。
- 2) 对瞬时单相对地闪络能自动熄弧,由于补偿电感,使接地故障点的残余电流很小,电弧难以维持而自熄。
- 3) 故障点对地电位小,零序电压保护的灵敏系数大。
- 4) 补偿电网由于采用了过补偿方式其脱谐度为  $-5\% \sim 10\%$ ,调谐度在  $1.05 \sim 1.1$  范围内进行,因此对弧光过电压可抑制在 2.5 倍运行相电压以下,保证用电设备的安全运行。

中性点经消弧线圈接地系统适用于单相接地电容电流比较大的电网,即可抑制异常过电压,又可在电网单相接地时保持连续供电,保证了大型电网供电可靠性,同时降低了单相接地故障电流对电气设备引起的热效应。

### 2.1.3 中性点经高阻抗接地

电力系统中性点经过电阻器接地,其电阻阻值为数百至数千欧姆,高阻接地可限制系统单相接地时的故障电流,当采用高阻接地时高阻接地系统可消除大部分谐振过电压,对单相间歇弧光接地过电压具有一定的限制作用,当单相接地故障电流小于 10A 时,系统可在接地故障条件下持续运行。

该接地型式主要用于发电机回路,发电机中性点经高阻接地后,可以达到:发电机单相接地故障时,限制非故障相过电压不超过 2.6 倍额定电压,限制接地故障电流不超过  $10 \sim 15\text{A}$ ,且为定子接地保护提供电源。

如果接入是将电阻经单相接地变压器或电压互感器接入中性点,电阻接在变压器的二次侧,如此接线是使低压小电阻起到高压大电阻作用,从而简化电阻器结构,降低成本,安装空间更易解决。

当发生单相接地时,总故障电流不宜小于 3A,以保证接地保护不带时限跳闸。

当电网接有较多的高压电动机或电缆线路较多时,由于其绝缘水平较低,其瞬时性的接地故障相对较少,为了保证不损坏绝缘以及为减少单相接地故障发展为多重接地故障,可采用中性点经电阻接地系统。发电机回路也用此接地方式。

## 2.2 有效接地系统或大电流接地系统

### 2.2.1 中性点直接接地

中性点和大地有紧密联系的电力系统中,无论是中性点直接接地,还是经小电阻接地,均需满足系统的零序电抗 ( $X_0$ ) 和正序电抗 ( $X_1$ ) 的比值 ( $X_0/X_1$ )  $\leq 3$ ,零序电阻 ( $r_0$ ) 和正序电抗 ( $x_1$ ) 的比值 ( $r_0/X_1$ )  $\leq 1$  的条件。

该系统的优点是过电压水平和输变电设备所需的绝缘水平较低。这种系统的动态电压升高不超过系统额定电压的 80%。

该系统缺点是发生单相接地故障时,单相接地电流很大,必然引起断路器跳闸,因而供电可靠性较差。单相接地电流有时会超过三相短路电流,影响断路器分断能力的选择,并对通信线路产生干扰及危险影响。

### 2.2.2 中性点经低电阻接地

由于城市建设的需要,城市电网和工业企业配电网中,电缆线路所占的比例日益增加,而它的电容电流是同样长度架空线路的 25~50 倍,使某些电网出现消弧线圈容量不足的情况,所以,中性点经低电阻接地在这些电网中得到应用。

当 6~35kV 电缆线路构成的送配电线路,单相接地故障电容电流较大时,采用低电阻接地方式,电阻阻值一般在  $10 \sim 20\Omega$ ,单相接地故障电流为  $100 \sim 1000\text{A}$ 。低电阻的优点是切除故障迅速,过电压水平低,因此可以采用绝缘水平较低的电气设备和线缆。

由于中性点经低电阻接地,单相接地短路电流大,对电信系统的影响与中性点直接接地系统一样,应给以足够考虑。

单相接地故障电流通过接地装置的接地电阻时,将产生高电位,将直接传递到低压侧的中性导体 (N),和保护导体 (PE) 上,可引起低压侧过电压,给低压用户带来威胁。

该接地系统多用在 6~10kV 电缆线路多的大城市及大中型企业配电网中,当发生单相接地故障时,立即导致跳闸。

## 3 各种接地方式的比较与适用范围

### 3.1 非有效接地系统或小电流接地系统

#### (1) 优点

1) 供电可靠性高。由于系统单相接地时,没有形成电源的短路回路,而是经过三相线路的对地电容形成的电流回路,回路中通过的电容电流较小,达不到继电保护装置的动作电流值,故障线路不跳闸,只发出接地报警信号。有关电力规程规定系统可带单相接地故障点运行 2h,在 2h 内排除了故障就可以不停电,从而提高了供电可靠性。

2) 单相接地时,不易造成或轻微造成人身和设备安全事故。

#### (2) 缺点

1) 因系统单相接地故障时,非故障相对地电压升高到正常时的  $\sqrt{3}$  倍,因此系统的绝缘水平应按线电压设计,由于电压等级较高的系统中绝缘费用在设备总价格中占有较大的比重,所以此种接地方式对电压较高的系统不适用。

2) 单相接地时,易出现间歇性电弧引起的谐振过电压,幅值可达电源相电压的 2.5~3 倍,足以危及整个网络的绝缘。

3.2 有效接地系统或大电流接地系统

优点是系统过电压水平和输变电设备所需的绝缘水平较低。系统的动态电压升高不超过系统额定电压的 80%，在高电压电网中采用此种接地方式可降低设备及线路造价，有显著的经济效益。

缺点是单相接地故障时，单相接地电流很大，致使断路器跳闸，影响供电可靠性，由于单相短路电流有可能超过三相短路电流，影响对断路器的分断能力的选择，且对通信线路产生干扰。

3.3 中性点接地方式的适用范围

对于 3~63kV 电网单相接地电流不大于规定值时，宜采用不接地方式，或经消弧线圈接地方式。

城市企业内部的电缆为主的 6~35kV 系统，单相接地电流较大时，可采用低值电阻接地方式。

对以架空线路为主的 6~10kV 系统，单相接地电流较小时，为防止谐振、间歇性电弧接地过电压对设备的损害，可采用经高阻接地方式。

电网中性点接地方式比较，见表 4.7-1。

表 4.7-1 电网中性点接地方式比较

比较项目	有效接地	非有效接地		
		高电阻接地	消弧线圈接地	不接地
接地故障电流	高	减低，但不大于接地故障电容电流	被中和抵消，最低	接地故障电容电流，低
接地故障时健全相上的工频电压	小，与正常时一样，无变化	比不接地时略小，有时比线间电压大	在故障点约等于线间电压，离开故障点时会比线间电压大 20%~50%或更大	大，长输电线产生高电压
暂态弧光接地过电压	可避免	可避免	可避免	可能发生
操作过电压	低	低	可控制	高
暂态接地故障扩大为双重故障的可能	转化为短路，小	转化为受控制的故障电流，中等	受抑制，中等	电容性电弧，大
发生单相接地故障时对设备的损害	可能严重	减轻	避免	严重
变压器等设备的绝缘	最低，有降低绝缘的可能，也可采用分段绝缘	比不接地略低	比不接地略低	最高
接地故障继电保护	采用接地保护继电器，容易迅速消除故障	可能用小功率继电器进行选择跳闸	自动消弧，但当出现永久性故障时，接入并联电阻进行选择切断或采用微机信号装置	采用接地继电器有困难，可采用微机信号装置
单相接地故障时电网的稳定性	最低，但由于快速跳闸，可以提高	高	最高	高
单相接地故障时的电磁感应	最大，由于快速跳闸，故障持续时间短	中等，随中性点电阻加大，电磁感应变小	小，但时间长	如不发展为不同地点的双重故障，就小
正常时对通信线路的感应	必须考虑 3 次谐波的感应	复式接地时比较小	因串联谐波产生感应	中性点如电位偏移产生静电感应
电网运行操作	容易	容易	需要对应运行工况而变更分接头，还要注意串联谐振，可采用自动调节分接头，可改善操作条件	由于采用继电器有困难，有时很麻烦，采用微机信号装置可改善操作条件
接近故障点时对生命的危险	严重	较重	较轻	常拖延时间，较重
接地装置的费用	最少，可装设普通接地刀开关	较多，中性点电阻器的价格相当高	最多	少，当装置接地变压器时，多一些

4 各种接地方式的比较

对于电力系统中性点接地方式涉及电力系统运行，安全、经济、继电保护方式等多方面内容，对中性点接地方式的选择应分析各种接地方式的特点，综合分析确定。

4.1 电气设备和线路的绝缘水平

电气线路和设备的绝缘水平取决于下列几个因素。

1) 供电系统的长期工作电压。

2) 作用在绝缘上的各种内部过电压，如开合空载电路、开断空载变压器、电力谐波、电弧接地等。

3) 作用在绝缘上的外部过电压，如大气过电压等，因此电力系统中性点接地方式不同，直接影响电气设备和线路的绝缘工作状态。

在电力系统中，中性点非有效接地系统的内部过电压在电压的基础上产生和发展，因而数值比较大。而中性点有效接地系统的内部过电压是在相电压的基础上产生和发展的，因此，对于有可能过电压的内部过电压和大气过电压来说，中性点有效接地系统比非有效接地系统低。所以就电气设备和线路的绝缘要求来讲，中性点有效接地方式更好。

## 4.2 对于供电的可靠性分析

大接地电流系统的单相接地电流很大,因此发生单相接地时必须跳闸,切除故障。

单相接地故障电流还可产生很大的电动力和热效应,致使设备和电线线路损坏。

单相接地故障跳闸,增加断路器的动作次数。

小电流接地系统发生单相接地故障后,允许带接地故障运行2h,避免上述大接地故障电流带来的缺点。

## 4.3 对继电保护的灵敏度问题

中性点不接地或经消弧线圈接地系统中,单相接地电流有较小的数值,接地保护的选择性实现较困难,消弧线圈接地系统中,由于补偿电网接地故障电流很小,又为电感电流,所以不能采用简单的零序电流和零序功率方向保护,而需采用反应高次谐波的单相接地保护。而在大接地电流接地系统中,由于接地电流数值大,继电保护能够迅速切除故障线路,实现继电保护的选择性。

## 4.4 对通信信号系统的干扰

正常运行时,无论系统采用何种接地型式均不会对邻近线路通信和信号系统产生严重影响。当发生单相接地故障时,出现三相零序电压、电流,其产生的磁场会对附近通信线路或信号系统产生感应电压,形成干扰源,因此,从考虑抗干扰角度,中性点直接接地方式最不利,但干扰延续时间短。而小接地电流电网,特别是经消弧线圈接地的电网,一般不会产生严重干扰,但其延续时间较长,在有的地区若对通信干扰的影响做为主要考虑的因素,则选择中性点接地方式就成为重要的选择方案了。

## 5 中性点接地方式的选择

中性点接地方式的选择是电力系统中需综合考虑的技术

问题,对电力系统的运行、设计都有多方面的影响,因此应慎重对待。

### 5.1 选择确定中性点接地方式应考虑的因素

- 1) 供电可靠性与故障范围。
- 2) 绝缘水平与绝缘配合。
- 3) 对电力系统继电保护的影响。
- 4) 对电力系统通信与信号系统的干扰。
- 5) 对电力系统稳定的影响。

### 5.2 系统接地要求

1) 3~10kV不直接连接发电机的系统和35kV系统,当单相接地故障电流不超过以下数值时,应采用不接地方式,当超过以下数值且需在接地故障条件下运行时,应采用消弧线圈接地方式。

① 3~10kV钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统和所有35kV系统,单相接地故障电容电流不超过10A。

② 3~10kV非钢筋混凝土或非金属杆塔的架空线路构成的系统:当电压为3kV或6kV时,单相接地故障电容电流不超过30A;当电压为10kV时,单相接地故障电容电流不超过20A;当电压为3~10kV电缆线路构成的系统,单相接地故障电容电流不超过30A。

2) 6~35kV主要由电缆线路构成的供、配电系统,单相接地故障电容电流较大时,可采用低电阻、中电阻接地方式,但应考虑供电可靠性要求,故障时瞬态电压、瞬态电流对电气设备的影响,对通信的影响和继电保护技术的要求及本地的运行经验等。

3) 6kV及10kV的电子系统以及发电厂厂用电系统,单相接地故障电容电流较小时,为防止谐振、间歇性电弧接地过电压等对设备的损害,可采用高电阻接地方式。

## 第8章 常用高压电器和开关柜

建筑电气工程常用的3~35kV电网的电器及开关设备,按电压等级来分属于中压;以1000V为界划分则属于高压的范畴,在电力行业、制造厂和用户都习惯将中压电网中的电器及开关设备通称为高压电器和高压开关设备。为此在表述35kV及以下中压配电系统常用电器和开关柜时,亦将10(6)kV、35kV电器和开关柜分别称为10(6)kV、35kV高压电器和高压开关柜。本章内容为常用3~35kV高压电器和高压开关柜的选择。

### 1 高压电器和开关柜的选择

#### 1.1 选择的一般原则

- 1) 应满足正常运行、检修、短路和过电压情况下的要求,并考虑远景发展。
- 2) 应按当地环境条件校核。
- 3) 应力求技术先进和经济合理。
- 4) 与整个工程的建设标准应协调一致。
- 5) 同类设备应尽量减少品种。
- 6) 选用的新产品均应具有可靠的试验数据,并经正式鉴定合格。

#### 1.2 按技术条件选择

选择的高压电器,应能在长期工作条件下和发生过电

压、过电流情况下保持正常运行。选择高压电器时应校验的项目见表4.8-1。

##### 1.2.1 长期工作条件

###### (1) 电压

按工作电压选用的高压电器及开关柜,其额定电压应符合所在回路的系统标称电压,其高压电器及开关柜的最高电压 $U_{\max}$ 应不小于所在回路的系统最高电压 $U_y$ ,即

$$U_{\max} \geq U_y \quad (4.8-1)$$

高压电器的最高电压,见表4.8-2。

###### (2) 电流

高压电器及导体的额定电流 $I_r$ 应不小于所在回路在各种可能运行方式下的最大持续工作电流 $I_{\max}$ ,即

$$I_r \geq I_{\max} \quad (4.8-2)$$

由于高压开断电器没有明确的过载能力,在选择其额定电流时,应满足各种可能运行方式下回路持续工作电流的要求。

在选择高压熔断器熔体电流时,应保证前后两级熔断器之间,熔断器与电源侧继电保护之间以及熔断器与负荷侧继电保护之间动作的选择性。

###### (3) 机械荷载

高压开关电器接线端子的允许荷载应大于电器引线在正常运行和短路时的最大作用力。电器机械荷载的安全系数,由设备制造厂统一考虑。

表 4.8-1

选择高压电器时应校验的项目

电器名称	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定容量 (kVA)	机械荷载 (N)	额定开断 电流 (kA)	短路稳定性		环境条件	绝缘水平	其 他
						短时耐 受电流	峰值耐 受电流			
断路器	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
隔离开关	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓
负荷开关	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓
熔断器	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓
电流互感器	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓
电压互感器	✓			✓				✓	✓	✓
限流电抗器	✓	✓				✓	✓	✓	✓	
支柱绝缘子	✓						✓	✓	✓	
穿墙套管	✓	✓				✓	✓	✓	✓	

- 注 1. 表中“✓”为选择电器应进行校验的项目。  
2. 以上按电器设备用于50Hz的情况,用于其他频率时对频率也要检验。  
3. 环境条件仅按户内型产品考虑。

表 4.8-2

高压电器的最高电压

项目					穿墙 套管	支柱 绝缘子	隔离开关	断路器	负荷开关	熔断器	电流 互感器	电压 互感器	限流 电抗器	消弧线圈
系统标 称电压 (kV)	3	系统最 高电压 (kV)	3.6	设备最 高电压 (kV)			3.6	3.6	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	系统的线对中 性点电压
	6		7.2		6.9	7.2	7.2	7.2	7.2	6.9	7.2	7.2	7.2	
	10		12		11.5	12	12	12	12	12	12	12	12	
	(20)		24		23	24	24	24	24	24	24	24	24	
	35		40.5		40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	



高压开关电器接线端子允许的水平机械荷载见表 4.8-3。

表 4.8-3 高压开关电器接线端子允许的水平机械荷载

额定电压 (kV)	10 及以下	(20) 35
接线端子水平机械荷载 (N)	250	500

1.2.2 短路稳定条件

(1) 校验的一般原则

1) 电器在选定后应按最大可能通过的短路电流进行动、热稳定校验。校验的短路电流一般取三相短路时的短路电流。但当单相、两相短路较三相短路严重时,则应按最严重情况校验。

2) 用熔断器保护的电器可不验算热稳定。当熔断器有限流作用时,可不验算动稳定。用熔断器保护的电压互感器回路,可不验算动、热稳定。

(2) 短路的热稳定条件

$$I_t^2 t > Q_{dt} \quad (4.8-3)$$

式中,  $Q_{dt}$  为在计算时间  $t_{js}$  秒内, 短路电流的热效应,  $kA^2 \cdot s$ ;  $I_t$  为  $t$  秒内设备允许通过的热稳定电流有效值,  $kA$ ;  $t$  为设备允许通过的热稳定电流时间,  $s$ 。

校验短路热稳定所用的计算时间  $t_{js}$  按下式计算

$$t_{js} = t_b + t_d \quad (4.8-4)$$

式中,  $t_b$  为继电保护装置后备保护动作时间,  $s$ ;  $t_d$  为断路器的分闸时间,  $s$ 。

采用无延时保护时,  $t_{js}$  可取表 4.8-4 中的数据, 该数据为继电保护装置的起动机构和执行机构的动作时间、断路器的固有分闸时间以及断路器触头电弧持续时间的总和。当继电保护装置有延时整定时, 则应按表中数据加上相应的整定时间。

表 4.8-4 校验热效应的计算时间

单位:  $s$

断路器开断速度	断路器的分闸时间 $t_d$	计算时间 $t_{js}$
高速断路器	$<0.08$	0.1
中速断路器	$0.08 \sim 0.12$	0.15
低速断路器	$>0.12$	0.2

(3) 短路的动稳定条件

$$i_{ch} \leq i_{df} \quad (4.8-5)$$

$$I_{ch} \leq I_{df} \quad (4.8-6)$$

式中,  $i_{ch}$  为短路冲击电流峰值,  $kA$ ;  $I_{ch}$  为短路全电流有效值,  $kA$ ;  $i_{df}$  为电器允许的极限通过电流峰值,  $kA$ ;  $I_{df}$  为电器允许的极限通过电流有效值,  $kA$ 。

(4) 高压电器及导体等的短路稳定校验计算(见表 4.8-5)

表 4.8-5

高压电器及导体短路稳定校验计算公式

电器名称	校验项目及计算公式	代号说明
断路器 负荷开关 隔离开关	动稳定 $i_{p3} \leq i_{max}$ 热稳定 $Q_t \leq I_t^2 t$	$i_{p3}$ —三相短路峰值(冲击)电流, $kA$ $i_{max}$ —电器额定峰值耐受电流, $kA$ , 由样本查得 $Q_t$ —短路电流热效应, $kA^2 \cdot s$ $I_t$ —电器在 $t_s$ 内允许通过的额定短时耐受电流, $kA$ , 由样本查得 $t$ —电器额定短路持续时间, $s$ , 由样本查得
限流电抗器	动稳定 $i_{p3} \leq i_{dw}$ 热稳定 $Q_t \leq I_t^2 t$	$i_{p3}$ —三相短路峰值(冲击)电流, $kA$ $i_{dw}$ —电抗器的动稳定电流, $kA$ , 由样本查得 $Q_t$ —短路电流热效应, $kA^2 \cdot s$ $I_t$ —电抗器额定短时电流, $kA$ , 由样本查得 $t$ —电抗器额定短时电流持续时间, $s$ , 由样本查得, 一般为 $2s$
电流互感器	动稳定 $i_{p3} \leq i_{dyn}$ 热稳定 $Q_t \leq I_{th}^2 t$	$i_{p3}$ —三相短路峰值(冲击)电流, $kA$ $i_{dyn}$ —电流互感器额定动稳定电流, $kA$ , 由样本查得, 通常为额定短时热电流 $2.5$ 倍 $Q_t$ —短路电流热效应, $kA^2 \cdot s$ $I_{th}$ —电流互感器额定短时热电流, $kA$ $t$ —电流互感器额定短时热电流持续时间, $s$ , 由样本查得, 一般为 $1s$
支柱绝缘子	动稳定 $F_c \leq 0.6 F_{ph}$ $F_c = 0.173 K_x \frac{l_c}{D} i_{p3}^2$	$F_c$ —作用在绝缘子上的作用力, $N$ $F_{ph}$ —绝缘子机械强度等级, 由样本查得 $K_x$ —绝缘子受力系数, 当绝缘子水平布置, 母线平放时为 $1$ , 母线竖放时, $6 \sim 10kV$ 为 $1.4$ , $35kV$ 为 $1.18$ , 当绝缘子垂直布置时为 $1$ $l_c$ —绝缘子间跨距, $m$ , 当绝缘子两边跨距不同时, 取其平均值 $D$ —相间距离, $m$ $i_{p3}$ —三相短路峰值(冲击)电流, $kA$
穿墙套管	动稳定 $F_c \leq 0.6 F_{ph}$ $F_c = 8.66 \frac{l_1 + l_2}{D} i_{p3}^2 \times 10^{-2}$ 热稳定 $Q_t \leq I_t^2 t$	$i_{p3}$ —三相短路峰值(冲击)电流, $kA$ $F_c$ —作用在穿墙套管上的作用力, $N$ $F_{ph}$ —穿墙套管弯曲破坏负荷, $N$ , 由样本查得 $l_1$ —套管端与最近一个绝缘子间的距离, $m$ $D$ —相间距离, $m$ $l$ —套管本身长度, $m$ $Q_t$ —短路电流热效应, $kA^2 \cdot s$ $I_t$ —套管短时热电流值, $kA$ , 由样本查得 $t$ —热短时时间, $s$ , 由样本查得, 一般为 $5s$

续表

电器名称	校验项目及计算公式	代 号 说 明
母 线	动稳定 $\sigma_c \leq \sigma_y$ 当跨数大于 2 时母线应力 $\sigma_c = 1.73 K_s \beta \frac{I_{ps}^2}{DW} \times 10^{-2}$ 热稳定 $S_{min} \geq \frac{1}{c} \sqrt{Q_i} \times 10^3$	$\sigma_c$ —作用于母线的计算应力, Pa $\sigma_y$ —母线最大允许应力, Pa, 硬铝为 120MPa, 硬铜为 170MPa $l_c$ —绝缘子间跨距, m $D$ —相间距离, m $W$ —截面系数, $m^3$ $i_{ps}$ —三相短路峰值(冲击)电流, kA $S_{min}$ —母线最小截面积, $mm^2$ $c$ —热稳定系数 $Q_i$ —短路电流热效应, $kA^2 \cdot s$ $K_s$ —矩形截面导体的形状系数 $\beta$ —振动系数
电 缆	热稳定 $S_{min} \geq \frac{\sqrt{Q_i}}{c} \times 10^3$	$S_{min}$ —电缆允许最小截面积, $mm^2$ $Q_i$ —短路电流热效应, $kA^2 \cdot s$ $c$ —热稳定系数

1.2.3 绝缘水平

在工作电压和过电压的作用下, 电器的内、外绝缘应保证必要的可靠性。电器的绝缘水平, 应按电网中出现的各种过电压和保护设备相应的保护水平来确定。

1.3 按环境条件选择

选择高压电器和开关柜时, 应按当地环境条件进行校验, 必须满足环境条件包括温度、日照、湿度、污秽、海拔、地震等运行条件对所选设备的要求。

(1) 温度

1) 选择高压电器的环境温度, 见表 4.8-6。

表 4.8-6 选择电器的环境温度

安装场所	最 高	最 低
屋外	年最高温度	年最低温度
屋内	该处通风设计温度, 当无资料时, 可取最热月平均最高温度加 5℃	

注 1. 年最高(或最低)温度为一年中所测得的最高(或最低)温度的多年平均值。

2. 最热月平均最高温度为最热月每日最高温度的月平均值, 取多年的平均值。

2) 按《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》(GB/T 11022)的规定, 电器设备的正常使用环境条件为周围空气温度不高于+40℃, 海拔不超过 1000m。当电器设备使用在周围空气温度高于+40℃(但不高于+60℃)时, 在符合规定的最高允许温度下, 允许降低负荷长期工作, 推荐周围空气温度每增高 1℃额定电流减少 1.8%; 当电器设备使用在周围空气温度低于+40℃时, 在符合规定的最高允许温度下, 允许过负荷长期工作, 推荐周围空气温度每降低 1℃, 额定电流增加 0.5%, 但其最大过负荷不得超过额定电流负荷的 20%; 当电器设备使用环境条件为风速小于 0.5m/s、日照强度大于 0.1W/cm<sup>2</sup>、周围空气温度高于+40℃时, 其长期工作电流负荷应降低到额定负荷的 80%。

3) 普通高压电器一般可在环境最低温度为-30℃(户内设备为-10℃)时正常运行; 在高寒地区, 应选择能适应环境最低温度为-40℃(户内设备为-25℃)的高寒电器。

4) 在年最高温度超过 40℃, 而长期处于低湿度的干热地区, 应选用型号后带“TA”字样的干热带型产品。

(2) 日照

屋外高压电器在日照影响下将产生附加温升。但高压电

器的发热试验是在避免阳光直射的条件下进行的。如果制造部门未能提出产品在日照下额定载流量下降的数据, 在设计中可暂按电器额定电流的 80%选择设备。

(3) 湿度

1) 选择电器的湿度, 应采用当地相对湿度最高月份的平均相对湿度(相对湿度——在一定温度下, 空气中实际水汽压强值与饱和水汽压强值之比; 最高月份的平均相对湿度——该月中最大相对湿度值的月平均值)。对湿度较高的场所应采用该处实际相对湿度。当无资料时, 可取比当地湿度最高月份平均值高 5%的相对湿度。

2) 一般高压电器可使用在+20℃, 相对湿度为 90%的环境中(电流互感器为 85%)。在长江以南和沿海地区, 当相对湿度超过一般产品使用标准时, 应选用湿热带型高压电器, 这类产品的型号后面一般都标有“TH”字样。湿热带型高压电器的使用环境条件, 见表 4.8-7。

表 4.8-7 湿热带型高压电器的使用环境条件

环 境 因 素	额 定 值
空气温度(℃)	最高 40
	最低 0
空气最大相对湿度(%)	95(25℃时)
黑色物体表面最高温度(℃)	80
太阳辐射最大强度[J/(cm <sup>2</sup> ·min)]	5.86
凝露	有
含盐空气	有
霉菌	有
最大降雨强度(mm/10min)	50
海拔高度(m)	≤1000

注 本表引自《湿热带型高压电器》(JB 832—1998)。

(4) 污秽

在距海岸 1~2km 或盐场附近的盐雾场所, 在火电厂、炼油厂、冶炼厂、石油化工厂和水泥厂等附近含有工厂排出的二氧化硫、硫化氢、氨、氯等成分烟气、粉尘等场所, 在潮湿的气候下将形成腐蚀性或导电的物质。污秽地区内各种污物对电气设备的危害, 取决于污秽物质的导电性、吸水性、附着力、数量、密度及距污秽源的距离和气象条件。在工程设计中, 应根据污秽情况采取下列措施:

1) 增大瓷外绝缘的有效泄漏比距或选用有利于防污的瓷绝缘造型。

2) 采用屋内配电装置。

(5) 海拔

1) 电器的一般使用条件为海拔不超过 1000m。

2) 海拔超过 1000m 的地区称为高原地区。高原环境条件的特点主要是：气压低、气温低、日温差大、绝对湿度低、日照强。对电器的绝缘、温升、灭弧、老化等的影响是多方面的。

当电器设备使用地点的海拔和最高周围空气温度符合表 4.8-8 的条件时，由于周围空气温度降低值足够补偿海拔对温升的影响，因而在实际使用中其额定电流值可与一般地区相同。

表 4.8-8 电器设备使用地点的海拔和最高周围空气温度

海拔 (m)	1000	2000	3000	4000
最高周围空气温度 (℃)	40	35	30	25

3) 对安装在海拔高度超过 1000m 地区的电器，外绝缘一般应予加强，可选用高原型产品或用外绝缘提高一级的产品。在海拔 3000m 以下地区，配电装置可选用性能优良的避雷器来保护一般电器的外绝缘。

(6) 地震

1) 地震对电器的影响主要是地震波的频率和地震震动的加速度。一般电器的固有震动频率与地震震动频率很接近，应设法防止共振的发生，并加大电器的阻尼比。地震震动的加速度与地震烈度和地基有关，通常用重力加速度  $g$  的倍数表示。

2) 选择电器时，应根据当地的地震烈度选用能够满足地震要求的产品。电器的辅助设备应具有与主设备相同的抗震能力。一般电器产品可以耐受地震烈度为 8 度的地震力。在安装时，应考虑支架对地震力的放大作用。

3) 根据有关规定，地震基本烈度为 7 度及以下地区的电器可不采取防震措施。在 7 度以上地区，电器应能承受的地震力，可按表 4.8-9 所列加速度值和电器的质量进行计算。

表 4.8-9 计算电器承受的地震力时用的加速度值

地震烈度	8	9
地面水平加速度	0.2g	0.4g
地面垂直加速度	0.1g	0.2g

1.4 按环境保护要求选择

选用电器，应注意电器对周围环境的影响，并根据周围环境的控制标准，对制造部门提出必要的技术要求。

(1) 电磁干扰

电器的电流、电压突变和电晕放电，会产生电磁干扰，损害或破坏电磁信号的正常接收及电器、电子设备的正常运行。根据运行经验和现场实测结果，对于 110kV 以下的电器一般可不校验无线电干扰电压。

(2) 噪声

为了减少噪声对工作场所和附近居民区的影响，所选高压电器在运行中或操作时产生的噪声，在距电器 2m 处应不大于下列水平：

连续性噪声：85dB。非连续性噪声：屋内 90dB，屋外 110dB。

2 高压开关柜的组成与分类

2.1 基本组成与功能

高压开关柜由高压断路器、负荷开关、接触器、高压熔

断器、隔离开关、接地开关、互感器及站用电变压器，以及控制、测量、保护、调节装置，内部连接件、辅件、外壳和支持件等组成的成套配电装置，其内的空间以空气或复合绝缘材料作为介质，用作接受和分配电网的三相电能，或用作对高压用电设备的保护和控制。

2.2 高压开关柜的分类

高压开关柜分为半封闭式高压开关柜和金属封闭式开关柜两类。金属封闭式高压开关柜又分为金属铠装式高压开关柜、间隔式高压开关柜和箱式高压开关柜三种类型。

2.2.1 半封闭式高压开关柜

高压开关柜中离地面 2.5m 以下的各组件安装在接地金属外壳内的高压开关柜，2.5m 及以上的母线或隔离开关无金属外壳封闭。其金属壳内、外的导体对地及相间距离，符合表 4.8-10 的规定。

表 4.8-10 以空气作为绝缘介质柜内各相导体间与对地间净距 单位：cm

项	额定电压 (kV)	3.6	7.2	12(11.5)	24	40.5
1	导体至接地间净距	7.5	10	12.5	20	30
2	不同相的导体之间的净距	7.5	10	12.5	18	30
3	导体至无孔遮栏间净距	10.5	13	15.5	21	33
4	导体至网状遮栏间净距	17.5	20	22.5	28	40
5	无遮栏裸导体至地板间净距	237.5	240	242.5	248	260
6	需要不同时停电检修无遮栏裸导体之间的水平净距	187.5	190	129.5	198	210
7	出线套管至屋外通道地面间净距	400	400	400	400	400

注 海拔超过 1000m 时 1、2 项值应按每升高 1000m 增大 10% 进行修正；3~6 项值应分别增加 1 或 2 项值的修正值。

2.2.2 金属封闭式高压开关柜

除进、出线外，高、低压电器组件及其辅助回路完全安装在接地金属外壳内的高压开关柜。金属封闭式高压开关柜分三种类型：金属铠装式高压开关柜、间隔式高压开关柜、箱式高压开关柜。

(1) 金属铠装式高压开关柜

某些组件分别装在用接地的金属隔板隔开的隔室中的金属封闭式高压开关柜内，金属隔板应符合表 4.8-10 所规定的防护等级（或者更高），至少下列组件应在单独的隔室里：

- 1) 每一组主断路器。
- 2) 连向主断路器一侧的组件，如馈电线路。
- 3) 连向主断路器另一侧的部件，如母线，如果有多于一组的母线，各组母线应分设于单独的隔室内。如果利用绝缘板作活门的一部分，这一部分应符合《户内交流高压开关柜订货技术条件》(DL/T 404—1997) 第 7.2.1 条的要求。

(2) 间隔式高压开关柜

某些组件分设于单独的隔室内（与金属铠装式高压开关柜一样），但具有一个或多个非金属板的金属封闭式高压开关柜，隔板的防护等级应达到 IP2X~IP5X（或者更高）的要求。

(3) 箱式高压开关柜

除铠装式和间隔式高压开关柜以外的金属封闭式高压开关柜，它具有下列特性：

- 1) 隔室的数目少于金属铠装式开关柜和间隔式开关柜。
- 2) 隔板的防护等级低于表 4.8-11 的规定。
- 3) 没有隔板。

表 4.8-11 防护等级分类规定

防护等级	能防止物体接近带电部分和触及运动部分
IP2X	能阻挡手指或直径大于 12mm、长度不超过 80mm 的物体进入
IP3X	能阻挡直径或厚度大于 2.5mm 的工具、金属丝等物体进入
IP4X	能阻挡直径大于 1.0mm 的金属丝或厚度大于 1.0mm 的窄条等物体进入
IP5X	能防止影响设备安全运行的大量尘埃进入，但不能完全防止一般灰尘进入

2.3 高压开关柜的结构型式与特点

高压开关柜的结构型式与主要特点，见表 4.8-12。

表 4.8-12 高压开关柜按结构分类

开关柜类别		结构型式	型号	断路器安装位置	特 点
半封闭式高压开关柜		固定式高压开关柜（户内型）	GBC	落地式	2.5m 高的带电组件允许暴露在柜体外，且无隔室，安全性较差。结构简单，制造方便，价格便宜，且能明确看到引进线隔离开关的分合状态，目前已较少使用
				中置式	
金属封闭式高压开关柜	金属铠装式高压开关柜	金属铠装式移开式高压开关柜（户内型）	KYN	落地式	隔室采用金属隔板，可将故障电弧限制在产生的隔室内，电弧触及金属隔板即被引入地内，安全性好，价格较贵，断路器更换方便，目前中置式使用较多
				中置式	
		金属铠装式固定式高压开关柜（户内型）	KGN	—	隔室采用金属隔板，可将故障电弧限制在产生的隔室内，电弧触及金属隔板即被引入地内，安全性好，价格较贵，断路器更换方便，目前中置式使用较多。断路器更换不方便，多用于高海拔地区加强绝缘产品
	间隔式高压开关柜	间隔移开式高压开关柜（户内型）	JYN	—	室内采用绝缘隔板，电弧有可能烧穿绝缘隔板进入其他隔室使事故扩大。安全性不如铠装式，断路器更换方便
	箱式高压开关柜	箱式固定式高压开关柜（户内型）	XGH	—	隔室数量少，隔板的防护等级低，或无隔板，安全性稍差，断路器更换不方便
		箱式环网式高压开关柜（户内型）	HXGN	—	隔室数量少，隔板的防护等级低，或无隔板，安全性稍差，断路器更换不方便，单台变压器容量1000kVA 及以下采用负荷开关加熔断器保护，应考虑转移电流问题，价格便宜
		高压电缆分接箱		—	按分支数分为三支、四分支、五分支、六分支等。按进出线分为单端型、双端型。按主干和分支结构分为带开关型与不带开关型

3 高压开关柜的技术条件

3.1 一般技术要求

(1) 基本要求

1) 高压开关柜的结构应保证工作人员的安全，且便于运行、维护、检查、监视、检修和试验。

2) 高压开关柜中各组件及其支持绝缘件（即纯瓷及有机绝缘件）的外绝缘爬电比距（即高压电器组件外绝缘的爬电距离与额定电压之比）相应值的应用范围规定如下：

①14mm/kV、16mm/kV 适应于 0 类设计（前者为纯瓷绝缘，后者为有机绝缘）。

②16mm/kV、18mm/kV 适应于 1 类设计（前者为纯瓷绝缘，后者为有机绝缘）。

③18mm/kV、20mm/kV 适应于 2 类设计（前者为纯瓷绝缘，后者为有机绝缘）。

(2) 对组（部）件的要求

同型产品内额定值和结构相同的组件应能互换。装于高压开关柜上的各组件应符合它们各自的技术标准。

(3) 铭牌

1) 铭牌应按规定安装在开关柜的醒目位置，其内容至少包括制造厂名称和商标；型号（包括接线方案号）、名称和出厂序号；使用参数（如额定电压、额定电流、额定短路开断及关合电流、额定短路耐受电流、额定短路持续时间及额定峰值耐受电流）；设计等级；防护等级；出厂日期等。

2) 高压开关柜内安装的高压电器组件，如断路器、负荷开关、接触器、隔离开关及其操动机构、互感器、高压熔断器、套管等均应具有耐久而清晰的铭牌。在正常运行中，各组件的铭牌应便于识别，若装有可移开部件，在移开位置能看清也可。

3) 高压开关柜内安装的高压电器组件（含连接导体）额定值不一致时（如额定电流、额定短时耐受电流、额定短路持续时间及额定峰值耐受电流），柜上的铭牌应按最小值标定。

(4) 导体间净距和内部故障

1) 单纯以空气作为绝缘介质时，柜内各相导体的相间与对地净距必须符合表 4.8-10 的要求。

2) 对于内部故障，应满足下列要求：

①金属封闭式高压开关柜应能防止因本身缺陷、异常或误操作导致的电弧伤及工程人员，能限制电弧的燃烧时间和燃烧范围。

②应采取防止人为造成内部故障的措施，还应考虑到由于柜内组件动作造成的故障（如断路器、负荷开关、熔断器开断时产生或排出气体）引起隔室内过压及压力释放装置喷出气体，可能对人员和其他正常运行设备的影响。

③如果怀疑所采取的措施不能有效防止内电弧，可与制造厂协商，按规定进行验证、试验。

④对已采用了限流装置（如安装限流熔断器的高压开关柜）保护的部分回路，可以不进行内部电弧试验。

(5) 防护等级

1) 对于金属封闭铠装式及间隔式高压开关柜的外壳和隔板的防护等级，均应分别作出规定，半封闭式和箱式高压开关柜，仅对其外壳的防护等级作出规定。

2) 为防止人身接近高压开关柜的高压带电部分和触及运动部分的防护等级分类，见表 4.8-11。

(6) 防误功能

1) 高压开关柜应具备防止误分、合断路器,防止带负荷分、合隔离开关或隔离插头,防止接地开关合上时(或带接地线)送电,防止带电合接地开关(或挂接地线),防止误入带电隔室等5项措施。

2) 根据高压开关柜工作状态(即位置)的不同,对型号不同的产品(或组件)应采取相应的具体措施,要求灵活、简单、可靠。

(7) 高压开关柜间(或隔室间)的隔离

1) 金属封闭式高压开关柜必须有防止因本柜组件故障殃及相邻高压开关柜的措施。

2) 高压开关柜间(或隔室间)的隔离设施,如果同时也起绝缘支撑作用,除以阻燃材料制成外,还必须通过相应的绝缘强度的验证试验。

(8) 电力电缆的连接

一台高压开关柜按连接两回电力电缆考虑电缆头的安装位置。高压开关柜电力电缆头隔室应满足以下要求:

1) 必须有安装电缆头的指定位置,并考虑有可靠的固定方法及零部件。

2) 高压开关柜隔室内高压组件与电缆头连接导电体截面除应能满足铭牌规定的额定电流外,连同支持绝缘子,均应能承受高压开关柜铭牌上所规定的额定峰值耐受电流、额定短时耐受电流和额定短路持续时间。

3) 电缆头的安装位置及连接方式必须考虑检修、试验时便于拆线及接线。

4) 电力电缆隔室与电缆沟连接处应考虑防止小动物进入的措施。

当进行电缆绝缘试验,若不能将电缆从高压开关柜上拆开时,则高压开关柜与电缆连接部分,应能承受电缆标准所规定的试验电压。

(9) 设计等级

1) 为便于用户按不同的使用环境选用相适应的产品,高压开关柜的设计分为0类、1类、2类3个等级。

2) 高压开关柜铭牌上的设计等级是按型式试验通过了相应的绝缘验证项目确定的,如规定的设计等级中有某一项绝缘验证没有通过,其铭牌上的设计等级只能按实际通过试验项目与有关规定的技术条件相对照以后确定。

3) 金属封闭开关设备的设计等级典型实例和使用条件,见表4.8-13。

表 4.8-13 金属封闭开关设备的设计等级  
经典实例和使用条件见表

设计等级 分类	安装处 温度控 制情况	受户外气候 日变化影响 程度	凝露	预防积尘 措施
0类	温度 可控制	建筑物或 房屋提供防 护使设备免 受影响		采取预防措施使沉 积物减到最少
1类	a 没有 温度 控制	建筑物或 房屋提供防 护使设备免 受影响	凝露不能 排除	采取预防措施使沉 积物减到最少
	b 温度 可控制			无专门预防措施使 沉积物减到最少,或 设备处在极接近尘源 的地方

续表

设计等级 分类	安装处 温度控 制情况	受户外气候 日变化影响 程度	凝露	预防积尘 措施
2类	a 没有 温度 控制	建筑物或 房屋提供防 护使设备免 受影响	凝露不能 排除	无专门预防措施 使沉积物减到 最少,或设备处 在极接近尘源 的地方
	b 没有 温度 控制	建筑物或 房屋使设备 免受影响的 防护很少	凝露可能 频繁出现	采取预防措施 使沉积物减到 最少
	c 没有 温度 控制	建筑物或 房屋使设备 免受影响的 防护很少	凝露可能 频繁出现	无专门预防措施 使沉积物减到 最少,或设备处 在极接近尘源 的地方

金属封闭开关设备应按当地使用环境条件(如环境温度、相对湿度、海拔、地震烈度等)校核。当在凝露和污秽方面比正常使用条件更严酷的条件下使用时,应注明下列严酷等级的要求:

0级:  $C_0P_1$ ; 1级:  $C_1P_1$  或  $C_0P_h$ ; 2级:  $C_1P_h$  或  $C_hP_1$  或  $C_hP_h$ 。

其中,  $C_0$ : 通常不出现凝露(每年不超过两次)。

$C_1$ : 凝露不频繁出现(每月不超过两次)。

$C_h$ : 凝露频繁(每月超过两次)。

$P_0$ : 无污染;  $P_1$ : 轻度污染;  $P_h$ : 严重污染。

3.2 设计与结构

(1) 外壳

1) 高压开关柜的外壳必须是金属的(除通风窗、排气口外),不得用网状编织物、不耐火或类似的材料制造。对金属封闭式高压开关柜其主回路的一切组件均应安装在防护等级满足要求的金属外壳内。

开关设备外壳的基本作用是防护和支承。作为防护,它必须满足防护等级规定。作为支承件,它必须具有足够的机械强度和刚度,保证装置的整体稳固性,特别是在内部故障条件下,不能出现变形或折断,避免扩大故障的外部效应。

2) 盖板、门、观察窗、通风窗及排气口,作为高压开关柜外壳的一部分,其防护等级应与外壳相同。

(2) 隔板和活门

1) 金属封闭式高压开关柜的隔板和活门,至少应达到表4.8-11规定的防护等级。金属封闭式高压开关柜上及铠装式和间隔式高压开关柜的隔板上,供可移开部件上触头插入固定触头的孔,应是正常使用时能正确动作的活门,当设备处于任一位置时,均能确保人身安全。

2) 高压开关柜中各高压电器组件的隔板,一般是金属制成,应与外壳具有相同的机械强度并接地。半封闭式高压开关柜的隔板与带电导体的距离除满足表4.8-10的要求外,隔室板的固定必须牢固,如无可靠的防误连锁,不允许采用任意插入或抽出的装配方式。

3) 金属封闭式高压开关柜的活门可以是金属的,也可以是非金属的。若活门是绝缘材料制成的,则不应成为外壳的一部分,如果是金属材料的,应该接地。若成为外壳的一部分,其防护等级则应与外壳相同。活门与手车(或抽屉)的连锁必须可靠、灵活,当手车(或抽屉)抽出以后,其活



门能起到保护作用。

### (3) 导体截面

1) 高压开关柜的主回路、各单元以及各组件之间连接导体的截面, 应比额定电流有 10% 的裕度。高压开关柜中主回路的最小截面 (包括电压互感器、避雷器的连接导体), 除应满足铭牌规定的额定电流值外, 还应能满足铭牌规定的额定峰值耐受电流、额定短时耐受电流和额定短路持续时间的要求。

2) 采用限流熔断器的主回路, 在熔断器与母线之间的连接导体, 其承受峰值耐受电流、短时耐受电流和短路持续时间, 应能满足高压开关柜铭牌额定值的要求。在限流熔断器以下的导电回路, 可按限制后的短路电流来选择导体截面积。

### (4) 接地

1) 为保证维修工作人员和设备的安全, 需接近或供接近的回路中所有部件都应事先接地, 这包括从高压开关柜分开后能触及的可移开或可抽出的部件。高压开关柜的金属骨架及其安装于柜内的高压电器组件的金属支架应按技术条件接地, 且与专门的接地导体连接牢固。凡能与主回路隔离的每一部件均应能接地, 包括利用隔离开关切换到接地开关合上的位置来实现接地。

2) 接地回路所能承受的峰值耐受电流和短时耐受电流应与主回路相适应, 专用接地导体应承受可能出现的最大短时耐受电流。接地汇流排以及与之连接的导体截面, 应能通过铭牌额定短路开断电流的 87%, 按技术条件经核算后进行选择。

### (5) 断路器、负荷开关及接触器

1) 高压开关柜内的断路器、负荷开关、接触器及其操动机构必须牢固地安装在支架上, 支架不得因操作力的影响而变形。断路器、负荷开关、接触器操作时产生的振动不得影响柜上的仪表、继电器等设备的正常工作。

2) 断路器、负荷开关、接触器的位置指示装置应明显, 并能正确指示出它的分、合闸状态。其安装位置均应便于检修、检查、预防性试验和运行中的巡视。

### (6) 互感器

1) 互感器应固定牢靠, 且应采取隔离措施, 当柜中其他高压电器组件运行异常时, 互感器仍应能正常工作。互感器安装的位置应便于运行中进行检查、巡视, 且在主回路不带电时, 便于人员进行预防性试验、检修及更换等。互感器的伏安特性、准确度级及额定负荷均应能满足继电保护及仪表测量装置的要求。

2) 电压互感器必须有防止铁磁谐振的措施, 其高压侧应装有防止内部故障的高压熔断器, 熔断器的开断电流应与高压开关柜铭牌参数相匹配 (包括采取限流措施后), 且便于熔断后更换熔断件。电压互感器二次侧应考虑短路保护。电流互感器的短时耐受电流及短路持续时间、峰值耐受电流均应满足高压开关柜铭牌值的要求。电流互感器二次侧应考虑开路保护。

### (7) 隔离开关 (隔离插头) 和接地开关

1) 隔离开关或接地开关的分、合闸操作位置应明显可见。安装于高压开关柜中任何型式的接地开关, 其关合短路电流的能力和短时耐受电流及短路持续时间均应与高压开关柜的铭牌相匹配。特别在通过短路电流时, 接地开关不会由于产生的电动力作用而被意外地打开。

2) 当隔离开关和接地开关组成一个整体时, 必须满足以下要求:

①如果隔离开关的断开及接地开关由一套 (或两套) 操动机构组合一套电器时, 则必须有可靠的机械连锁, 要保证

隔离开关的断开及接地开关的合上是按规定的操作程序分两步完成。

②对于手车式高压开关柜的接地开关, 必须当主回路的电源侧隔离插头断开后, 其接地开关才能合上, 在接地开关未断开之前, 其隔离插头不能进行插入的操作。

③隔离开关与接地开关不应由于运行中可能出现的作用力 (包括通过短路电流) 而引起误分或误合。

### (8) 测量仪表、继电保护装置及辅助回路

测量仪表、继电保护装置及辅助回路中的低压熔断器、端子以及其他辅助元件与高压带电部分应保持足够的安全距离, 否则应采取可靠的防护措施, 以保证在高压带电部分在不停电情况下进行工作时, 人员不致触及运行的高压导电体。

测量仪表及继电保护装置应有可靠的防振动措施, 不致因高压开关柜中断路器、负荷开关、接触器等在正常操作及故障动作的振动而影响它的正常工作及性能。高压电器组件与高压开关柜辅助回路的连接, 如采用插头方式, 其同一功能单元、同一种型式的高压电器组件插头的接线应相同, 并能互换使用。插头与插座必须接触可靠, 并有锁紧措施。插头与开关设备应有可靠的机械连锁, 当开关设备在工作位置时, 插头应拔不出来。

### (9) 外壳及其支架的防锈涂料

可采取涂刷油漆或其他措施来防锈。涂防锈涂料之前, 须彻底清除锈蚀物及焊渣, 然后按涂刷该涂料所规定的工艺和程序进行。

对高压开关柜表面所涂防锈涂料颜色的要求: 其内部的表面, 应涂反光差大的浅色; 其外部表面, 则应涂不刺眼、不反光且美观的油漆。同一型号和同一批产品, 其内 (外) 表面防锈涂料的颜色要求一致。

装 SF<sub>6</sub> 气体绝缘高压电器组件的高压开关柜隔室的内表面, 涂刷的防锈涂料必须能耐受 SF<sub>6</sub> 气体及其衍生物的浸蚀, 不会与 SF<sub>6</sub> 气体或低氟化物接触后发生化学变化。

## 3.3 型式试验

1) 型式试验是为验证高压开关柜及其高、低压电器组件、辅助元件的各种性能是否达到技术条件的要求, 是否能定型生产而进行的试验。由于各组件均有它的多种系列、不同额定值, 并且可以组合出很多接线方案, 因此只需选出具有代表性的方案进行型式试验, 应附试品接线方案图和装配图。

2) 产品的型式试验主要有以下项目: 绝缘试验; 主回路电阻测量和温升试验; 峰值耐受电流、短时耐受电流试验; 关合和开断能力试验; 机械试验; 防护等级检查; 操作振动试验; 内部故障试验; SF<sub>6</sub> 气体绝缘开关设备的漏气率及含水量的检验等。

## 3.4 出厂试验

高压开关柜的出厂试验包括如下项目:

- 1) 主回路的工频耐压试验。
- 2) 辅助回路和控制回路的工频耐压试验。
- 3) 局部放电测量。
- 4) 测量主回路电阻。
- 5) 机械性能、机械操作及机械防止误操作装置或电气联锁装置功能的试验。
- 6) 仪表、继电器元件校验及接线正确性检定。
- 7) SF<sub>6</sub> 断路器漏气率、含水量的检验。
- 8) 在使用中可以互换的具有同样额定值和结构的组件。



应检验互换性。

## 4 高压开关柜的技术性能与产品选型

### 4.1 技术性能

- (1) 使用环境条件
  - 1) 海拔高度: 不超过 1000m。
  - 2) 环境温度: 不高于 +40℃, 不低于 -5℃。
  - 3) 相对湿度: 小于或等于 90% (15℃)。
  - 4) 抗震能力: 地面水平加速度 0.4g。地面垂直加速度 0.2g。
  - 5) 安全系数: 安全系数大于 2。
 特殊使用环境条件, 订货时协商解决。
- (2) 使用技术条件及产品试验参数 ( [ ] 内为 35kV 开关柜数据)
  - 1) 额定工作电压: 10kV [35kV]。
  - 2) 最高工作电压: 12kV [40.5kV]。
  - 3) 额定工作频率: 50Hz。
  - 4) 额定关合电流: 小于或等于 63kA, 额定开断电流  $\geq 25\text{kA}$ 。
  - 5) 额定动稳定电流: 63kA、(80) kA (峰值)。
  - 6) 额定热稳定电流: 25kA、(31.5) kA。
  - 7) 对 10kV 不接地系统 (中性点经消弧线圈接地) 高压设备的绝缘水平应符合额定电压 15kV/17.5kV 等级标准。
  - 8) 工频耐压: 瓷绝缘工频耐压 42kV、1min [95kV、1min];  
非瓷绝缘工频耐压: 38kV、1min。
  - 9) 冲击耐压: 75kV (峰值) [185kV 峰值]。
  - 10) 温度: 开关柜可接触部件 30℃; 导体表面 65℃。
  - 11) 内部故障电弧效应试验:  
电缆室 10kA/0.1s;  
断路器室 20kA/0.8s。
  - 12) 局放试验。

### 4.2 产品选用要点

- (1) 高压开关柜的选择
 

为保证高压开关柜中高压电器元件在正常运行、检修、短路和过电压情况下的安全, 高压开关柜应按下列条件选择:

  - 1) 按环境条件包括温度、湿度、海拔、地震烈度等选择。
  - 2) 按正常工作条件包括电压、电流、频率、机械荷载等选择。
  - 3) 按短路条件包括短时耐受电流、峰值耐受电流、额定短路关合和开断电流等选择。
  - 4) 按承受过电压能力包括绝缘水平等选择。
  - 5) 按各类高压电器的不同特点包括开关的操作性能、熔断器的保护特性配合、互感器的负荷及准确等级等选择。
- (2) 金属封闭开关柜类型的选择
 

根据具体工程使用条件选择金属封闭开关柜的类型。如铠装式金属封闭开关柜、间隔式金属封闭开关柜和箱式金属封闭开关柜。
- (3) 金属封闭开关柜断路器的选择
 

根据具体工程使用条件选择金属封闭开关柜中断路器类型。如真空断路器、SF<sub>6</sub> 断路器和少油断路器。
- (4) 一次线路方案的选择
 

根据具体工程主接线选择金属封闭开关柜的一次线路方案。
- (5) 继电保护和二次线路接线方式的选择

根据具体工程接线方案选择金属封闭开关柜的继电保护和二次线路接线方式。

### 4.3 高压开关柜及配套产品生产、检测的相关标准

高压开关柜及配套产品生产、检测的相关标准, 见表 4.8-14。

表 4.8-14 高压开关柜及配套  
产品生产、检测的相关标准

编 号	名 称
GB/3906—2006	3.6~40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备
DL/T 404—2007	3.6~40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备
GB/T 11022—1999	高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求
DL/T 403—2000	12~40.5kV 高压真空断路器订货技术条件
SD 318—1989	高压开关柜闭锁装置技术条件
GB 1985—2004	交流高压隔离开关和接地开关
GB 3804—2004	3.6~40.5kV 高压交流负荷开关
GB 16926—1997	交流高压负荷开关—熔断器组合电器
GB 15166.2—1994	交流高压熔断器 限流式熔断器
GB 1207—2006	电磁式电压互感器
GB 1208—2006	电流互感器

### 4.4 常用高压开关柜的型号及规格

1) 近几年在我国建筑工程建设中, 金属铠装移开式高压开关柜已广泛应用, 其中应用最多的是中置式铠装高压开关柜, 下置式和双层布置式铠装高压开关柜也有应用。由于移开式金属铠装高压开关柜采用组装结构, 产品尺寸精度高, 外形美观, 通用性及互换性好, 检修维护方便、安全可靠, 技术性能先进, 国内产品的技术性能已达到或接近进口产品的标准, 因此, 金属铠装移开式高压开关柜已成为我国高压开关柜的主流产品。

2) 环网负荷开关柜与金属封闭式开关柜比较, 具有体积小, 结构相对简单, 运行维护工作量少, 成本较低等优点, 适用于 10kV 环网供电、双电源供电和终端供电系统, 亦可用于箱式变电站, 在我国城市电网改造及小型变配电站得到广泛使用。

由于环网负荷开关柜的保护功能简单, 不适用于对保护和自动化要求较高的场所使用。

环网负荷开关柜中多采用限流熔断器保护变压器, 当变压器发生短路时, 限流熔断器可在 10ms 内切除故障, 其切断时间远远小于断路器的全开断时间, 比用断路器保护油浸变压器更为有效, 这也是环网负荷开关的一个突出的特点。

环网负荷开关柜中的熔断器, 一般选择带有撞击器的熔断器, 使用时应根据负荷开关—熔断器组合电器的相关要求, 还应注意熔断器的工作电流受环境温度影响较大, 因安装方式的不同, 熔断器要考虑降容使用。

建筑工程中常用的部分高压开关柜的型号及规格, 见表 4.8-15。

3) 高压开关柜中的断路器有真空断路器, SF<sub>6</sub> 断路器和少油断路器, 但在建筑工程中基本不选用少油断路器, SF<sub>6</sub> 断路器仅在 35kV 系统有时采用, 10(6)kV 系统中基本不选用。真空断路器因具有不燃爆、低噪声、体积小、高可靠性和适宜频繁操作等优点而被广泛应用。国产户内真空断路器在所用材料、整机制造技术和产品技术性能方面在 20 世纪 90 年代就有了突破性进展, 技术指标已接近或达到世界先进水平, 产量也随着市场的兴旺而大幅提高, 因其具有独特的优势, 已全面替代了油断路器。常用真空断路器的主要技术数据, 见表 4.8-16。

表 4.8-15 部分高压开关柜型号及规格

技术数据 开关柜型号	类别 型式	电气参数			主要电器设备型号							外形尺寸 (宽×深×高) (mm×mm×mm)	备 注
		额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定断开容量 (kA)	主开关	操动 机构	电流 互感器	高压 熔断器	避雷器	电压 互感器	接地 开关		
XGN□—35(Z)	单母线带 旁路固定式	35	1250、1600、 2000	25、31.5	ZN12—35	专用直流操作 (弹簧机构)	LZZB7—35 LCZ—35	RN1—35	HY5WZ2— 54/134	JDZ9—35、 JDZX9—35		1818×2960(3860) ×3650	北京北开
XGN17C—40.5	单母线	40.5	630、1250 2500、3150	25、31.5	3AH ZN12							1918×2500 (3250)×3120	四川开关厂
KYN10—40.5	单母线 手车式	40.5	1250、1600	25、31.5	ZN12—40.5 ZN65A—40.5		LDJ—40.5 LCZ—40.5	XRNP—35 XRNT—35	HY5WZ2 —54/134	JDZ9—40.5 JDZX9—40.5	JN12—40.5	1400×2200×2600	北京北开
KYN□—35(Z)	单母线 手车式	35 (40.5)	1600	20、25、 31.5	ZN□—35	专用弹簧 操作机构	LDJ1—35	RN1—35	HY5WZ1 —42/134	JDZ8—35、 JDZX8—35	JN11—35	1600×2260×2600	北京北开
UR7 KYN9000—12 (KYN28A—12)	单母线 移开式	40.5	630、1250、1600、 2000、2500、3150	16、20、 25、31.5	40SW—VACW	专用弹簧 操作机构	LZZB12—36	XRNP—35I		JDZX11—35R	JN15	1200(1600) ×2750×2600	镇江伊顿电器
AMS—40.5	单母线 中置式	40.5	630、1250、1600、 2000、2500	25、31.5	VEP—40.5						ESW—40.5	1200×2500×2400	厦门华电
HMS—40.5	单母线 手车式	40.5	630、1250、1600、 2000、2500	20、25、31.5	HVF						JN11—40.5	1200×2800×2600	江苏现代南自
KYN800—10	单母线 中置式	(6)10	630、1250、2000、 2500、3150	20、25、 1.5、40、 50	ZN12—10 ZN□—10B ZN65—12 ZN28—12		LAJ—10 LZZBJ9—10A			JDZJ—10 JDZ—10 JDZX9—10G		900(800) ×1750×2750	北京北开
KYN□—12 (VUA)	单母线双层	(3) (6)10	1250~3000	25、31.5、40	ZN18—12CE (美)		LFJ3—10Q LDJ3—10Q					800×1760 ×2300	广州白云
MMV15	单母线 中置式	15	630、1250、2000	25、31.5、40								650(800) ×1600×2100	北京美基机电
DF5151	单母线 中置式	12	630、1250、1600、 2000、2500、3150	20、25、 31.5、40	VSI、VD4		ASI2	RN2—10	HY5WZ— 17/50	RZL10 REL10	JN15	800(1000)×1500 (1660)×2300	烟台东方电子
KYN□—12(Z) —(GZS)	单母线 中置式	12	630、1250、 1600、2000、 2500、3150		VSI、VD4		ASI2	RN2—10	HY5WS2— 17/50	RZL—10 REL—10	JN15	800(1000) ×1500×2300	北京北能电气

续表

技术数据 开关柜型号	类别 型式	电气参数			主要电器设备型号							外形尺寸 (宽×深×高) (mm×mm×mm)	备 注
		额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定断开容量 (kA)	主开关	操动 机构	电流 互感器	高压 熔断器	避雷器	电压 互感器	接地 开关		
KYN3A-10	单母线 手车式	10	630、1250、 1600、2000、 2500、3150		ZN28-10	CD17、 CT19	LZZB1-10	RN2-10	FZ2 FS3 FCD3	JDZJ-10 JDZ-10	JN4-10		武汉中源电器
KYN(VE)-10	单母线 中置式	10	630、1250、 1600、2500、315	20、25、31.5、 40、50	ZN、VK、 VDA、VCB		LZZJB9-10	RN2-10	HY5WS	JDZ-10		800(1000)×1540 (1700)×2300	广州白云
KYN□-12	单母线 下置式	10	1250、2000、3150	25、1.5、 40	VPR		LZZJ-10	RN2-10	HY5WS- 12.7/50 HY5WZ- 12.7/50	JDZX-10G JDZZ-10J	JN15-10	840(1000) ×1700×2150	旅顺开关厂
KYN17-12	单母线 中置式	3、6、7.2、12	800、1250	31.5	ZN21-12、 VS1-12		LZZBJ9-10A	RN2-10	HY5WZ1 -17.5	JDZ9-10	JN16-10	800×1500 ×2200	北京二开
KYN18B-10Z	单母线 中置式	3、6、10	630、1250、1600、 2000、2500、3150	31.5、40	ZN12-12T		LZZBJ9-10G、 LMZD2-10	RN1-10 RN2-10	HY2.5W1	JDZJ-10		800(840) ×1775×2150	北京供电福斯特
KYN18C-10	单母线 中置式	3、6、10	630、1250、1600、 2000、2500、3150	25、1.5、 40	ZN28-10	CD11、CT19	LZZB1-10	RN2-10	FZ2 FS3 FCD3	JDZ-10 JDZJ-10	JNA-12		四川电器
KYN21A-10	单母线 手车式	3、6、 10	630、1000、 1250、1600、 2000、2500、 (3150)	20、25、 31.5、40	ZN28-10、 ZN12	CD17、CT19	LDJ-10Q	RN2-10 XRNT-10	HY5WZ1- 12.7/45	JDZ-10 JDZJ-10 JSJV-10 JSJW-10	JN4-10	840(1000) ×1700×2200	北京北能电气
KYN18D-10ZQ	单母线 中置式	10	1000、1250、 1600、2000、 2500、3150	25、1.5、 40、50	ZN12A-10		AS-12、 LZZBJ9-10A		HY5W	JDZJ-10 JDZBJ9-10 JDZ-10 REL-10		900(1000)×1650 ×2050	北京华东开关
KYN27-12	单母线 中置式	3、6、7.2、 10	630、1000、1250、 1600、2000、 2500、(3150)	16、20、25、 1.5、40	ZN28-10		LZZJ-10	RN2-10	HY5WZ1- 12.7/45	JDX8-10G JDZ2-10	JN15-12	840(1000) ×1700×2200	杭州松都
AMS-12	单母线 中置式	3、6、7.2、12	630、1250、 1600、2000、2500、 3150、4000	20、25、31.5、 40、50	VEP- 3.6、7.2、12						ESW- 3.6、7.2、12	650(800、1000) ×1400×2250	厦门华电

续表

技术数据 开关柜型号	类别 型式	电气参数			主要电器设备型号							外形尺寸 (宽×深×高) (mm×mm×mm)	备 注
		额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定断开容量 (kA)	主开关	操动 机构	电流 互感器	高压 熔断器	避雷器	电压 互感器	接地 开关		
ZK1-10	单母线 移开	3~10	1600、2000、 2500、3150	16、20、25、 31.5、40、50	VD4、VRC	DC、AC (CT)	MLB	STBA	MWF	VES	EK6	650(800、1000) ×1350×2200	重庆博森
VBMK-I VBMK-II VBMK-III	单母带 旁路、双层 移开	12	630~1600 2000~4000	20~31.5 40~50	SBV-12 VD4	DC、AC (CT)	LQZJ3-10 LZZQB8-10 LZZJ-10Q	RN1-6 RN1-10 RN2-10 SDLJ-10	HYWZ -12.7/45	JDZ-3 JDZ-6 JDZ-10 REL-10	JN15-10	650(800、840、 900)×1500(2000) ×2300	常州太平洋
HXGN810-12	环网 开关柜	3.6 7.2 12	630	25	SFL SDLAJ		LZZB9	SDLAJ SFLAJ SKLAJ XRNP1-10				375(500) ×900×1850	北京北开
ZS1-12	单母线 移开 (固定)	3.6 7.2 12	1600、2000、 2500、3150、 4000	16、20、 25、31.5、 40、50	VD、VC C3	AC、DC			MWD		EK6	650(800、1000) ×1300×2200	ABB
HXGN19- 12(ZF)	环网 开关柜	12	630	50	FN5-10 FN5-10□		LZJC-10 LZZBJ9- 10A	RN3 XRNP	FS2 FS4 HY5WS HY5WR	JDZ-10	GSN-10	900×900 ×2200	北京通州开关
HXGN20-10ZF	环网 开关柜	10	630 (1250)	50	ZNF-10		LZZQB6-10		HY5WZ- 16.5/45	JDZF9-10		700(800) ×950×2000(2200)	汕头南粤开关
XGW2-12(Z)	户外 组合型	12	1250	20、31.5	ZN28-10 VSI-12		LFZBJ9-10Q	RN1-10	HY5WS- 17/50	JDZX-10			许继集团
KYN28(ZSS)	单母线 中置式	10	630、1250、 1600、2000、 2500、3150	16、20、25、 31.5、40、50	ZN21-10 ZN2-1 VSI-12		LZZB(J) AS12	XCRNP-10	HY5W Y5W	RZL10 REL10	JN15-10	800× 1400(1600)×2200	厦门电控厂
KYN28A	单母线 中置式	10	630、1250、 1600、2000、 2500、3150	20、25、31.5、 40、50	VSI-12 VSm		LZZBJ9-12	XRN-10		RZL10 REL10		800(1000) ×1500(1600)×2200	北京通州开关
KYN36-12 (MA-EC)	单母线 下置式	12	630、1250、 1600、2000、 2500、3150	25、31.5、 40、50	VPR							700(800、1400、1500) ×1800×2200	西电三菱电机

续表

技术数据 开关柜型号	类别 型式	电气参数			主要电器设备型号							外形尺寸 (宽×深×高) (mm×mm×mm)	备 注
		额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定断开容量 (kA)	主开关	操动 机构	电流 互感器	高压 熔断器	避雷器	电压 互感器	接地 开关		
KYN48(DKY) —12	单母线 中置式	12	630、1250、 1600、2000、 3150	20、25、 31.5、40、50	VK							800×1650 ×2200	江苏华威电器
KYN1000—10	单母线 手车式	3、6、10	1600、2000、 3150	31.5、 40、50	3AH ZNI2—10		LZB19 —10A	RN2—6 RN2—10 SDLDNJ		JDZJ—6 JDZ—6 JDJ—10 JDZ—10		800(900) ×1775(2175)×2050	重庆博森电器
CAV—12	单母线 移开式	12、24	2500	16、25、 31.5、	BLV							800(900) ×1410(1540) ×2150(2450)	四川电器 四川开关厂
MVnex—12	单母线 移开式	12	1250、2500、 3150	25、31.5、 40	Evoilis							800(900、1000) ×1595×2300	施耐德 电器
RM6—10Q	环网 组合	12、24	630	20/3s 16/1s	400TB 158LR							1186×710 ×1140(3单元)	施耐德 电器
UR4	单母线 移开式	7.2 12	630、1250、 1600、2000、 2500、3150、4000	25、31.5、 40、50、63	NVU12 VCP—W W—VACX	专用弹簧 操作机构	LZZB8 —10A3	XRNP1	TBP HY5WZ	JDZ2JDZX	JN15	620(800)×1650 (1800)×200	镇江伊顿电器
HXGN—12	环网 组合	10 (12)	630、1250	20/4s 31.5	ZFN—12 FN5—12 ISARC—12		LFSQ LFS	SFLAJ XRNP—12	HY5WS HY5WZ			800(820)×900 (800)×2200	四川开关厂
HXGN15—12	环网 (ABB) 组合	12	630	20/3s								750(500)×900 ×1600(1850)	四川开关厂
KYN8BK	单(双) 母线 手车式	7.2 12	630	25、 31.5	3AH		LZZ89 —10A AS12—1506	XRNP	HY5WZ	JDZJ JDZ UNE	JN15—10F	800×1650×2550 800×3650×2550 (双母线)	四川开关厂

表 4.8-16

常用真空断路器主要技术数据

型号 技术数据	VD4	VS1	3AH3 3AH5	VBB	VEP	Evolis EV12
额定电压(kV)	12	10/12	12	12	3.6/7.2/12	12
额定频率(Hz)	50	50	50	50/60	50	50/60
额定电流(A)	630、1250、 1600、2000、 2500、3150	630~4000	800、1250、 1600、2000、 2500、3150	630、1250、 1600、2000、 2500、3150、 4000	630、1250、 1600、2000、 2500、3150、 4000	630、1250、 1600、2000、 2500、3150
额定短路开断电流 (kA)	16、20、25、 31.5、40、50	25~40	25、31.5、40	20、25、31.5、 40(50)	20、25、31.5、 40、50	25、31.5、40
额定短路关合电流(峰 值)(kA)	40、50、63、 80、100、125	63~100	63、80、100	50、63、 80、100	50、63、 80、125	80
额定短时耐受电流 (4S)(kA)	16、20、25、31.5、 40、50、35(3S)	20~40	25	20、25、31.5、 40(50)	20、25、31.5、 40、50	31.5
1min 工频耐受电流 (kA)	42	42	42	42	42	42
额定冲击耐受电流 (kA)	40、50、63、 80、100、125	63~100	63、80、100	50、63、 80、100	50、63、 80、125	80
雷电冲击耐受电压(峰 值)(kV)	75	75	75	75	75	75
额定短路电流开断次数 (次)	100	50	50	50	50(31.5、40kA) 40(50kA)	
额定操作顺序	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO
额定操作电压(V)	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	
合闸时间(ms)	55~66	≤100	<75	35~75		<65
分闸时间(ms)	33~45	≤50	<65	20~50		<50
机械寿命(次)	30 000	20 000	20 000	30 000/20 000 (10 000)	30 000/20 000	10 000
储能电机额定电压(V)		DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220		
储能电机额定功率(W)			200			
储能时间(s)		≤15	≤15	≤10		
分合闸线圈额定功率 (W)		245				
备 注	厦门 ABB	北京华东	上海西门子	许继集团	厦门华电	梅兰日兰

型号 技术数据	HVF	ZN51—12	ZN12—10	ZN63A—12	ZN18—10 (VK—10J25)	VB2—12	VG1
额定电压(kV)	12	12	10/12	12	12	12	12
额定频率(Hz)	50/60	50	50	50	50	50	50
额定电流(A)	630、1250、 2000、2500、 3150	630、1250	1250、1600、 2000、2500、 3150	630、1250、 3150	630	630、1250、 2000、2500、 3150	630、1250、 1600、2000、 2500、3150、 4000
额定短路开断电流 (kA)	25、31.5、 40、50	20、25	31.5、 40、50	16、25、 31.5、40	25	25、31.5、 40	20、25、31.5、 40、50
额定短路关合电流(峰 值)(kA)	63、80、 100、125	50、63	80、100、125	40、63、100	63	63、80、100	50、63、80、 100、125



续表

型号 技术数据	HVF	ZN51—12	ZN12—10	ZN63A—12	ZN18—10 (VK—10J25)	VB2—12	VG1
额定短时耐受电流(4s) (kA)	25、31.5、 40、50、	20、25	31.5、40、 50(3S)	16、25、 31.5、40	25(3S)	25、31.5、40	20、25、 31.5、40、50
1min 工频耐受电流 (kA)	42	42	42	42	42	42	42
额定冲击耐受电流 (kA)	63、80、 100、125	50、63	80、100、125	40、63、 100	63	63、80、 100	50、63、80、 100、125
雷电冲击耐受电压(峰 值)(kV)	75	75	75	75	75	75	75
额定短路电流开断次数 (次)		30	50、30、12	30、20 (3150A)	50	50	50、30 (≥40kA)
额定操作顺序	0—0.3S—CO —180S—CO CO—15S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO 0—180S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO 0—180S—CO —180S—CO
额定操作电压(V)	AC110、220 DC110、220	DC110、220	AC110、220 DC110、220		DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220
合闸时间(ms)	45~65	≤75	≤75	≤100	25~45		30~60
分闸时间(ms)	36~45	≤60	≤65	≤50	15~30		≤40
机械寿命(次)	30 000	10 000	10 000	20 000	10 000	30 000/20 000	30 000/10 000
储能电机额定电压(V)		DC110、220	AC110、220 DC110、220	DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220
储能电机额定功率(W)		200	275		200	240	100
储能时间(s)			15	≤15	≤15	≤10	≤15
分合闸线圈额定功率 (W)				370		220	300
备 注	现代南自	北京北开	北京北开	天水长城	广州南洋	上海通用	江苏长江电器
型号 技术数据	HVF	VEP	ZN12—35	ZN72—40.5	ZN□—35	3AV3 (ZN85—40.5)	405W—VACW
额定电压(kV)	40.5	40.5	35/40.5	40.5	35/40.5	40.5	40.5
额定频率(Hz)	50/60	50	50	50	50	50	50
额定电流(A)	1250、2000、 2500、3150	1250、1600、 2000、2500	1250、1600、 2000、2500、	1250、1600、 2000	1600、2000、 2500	1250、1600、 2000、2500	630、1250、 1600、2000、 2500
额定短路开断电流 (kA)	31.5	25、31.5	25、31.5	25、31.5	20、25、 31.5	20、25、 31.5	16、20、 25、31.5
额定短路关合电流(峰 值)(kA)	80	63、80	63、80	63、80	50、63、80	50、63、80	40、50、63、80
额定短时耐受电流(4s) (kA)	31.5(3s)	25、31.5	25、31.5	25、31.5	20、25、 31.5	20、25、 31.5	16、20、 25、31.5
1min 工频耐受电流 (kA)	95	95	95	95	80、95	95	95
额定冲击耐受电流 (kA)		63、80	63、80	63、80	50、63、80	50、63、80	40、50、63、80
雷电冲击耐受电压(峰 值)(kV)	185	185	185	185	185	185	185
额定短路电流开断次数 (次)			20	20	20	20	50

续表

型号	HVF	VEP	ZN12—35	ZN72—40.5	ZN□—35	3AV3 (ZN85—40.5)	405W—VACW
技术数据							
额定操作顺序	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO	0—0.3S—CO —180S—CO
额定操作电压(V)	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	DC110、220	AC110、220 DC110、220
合闸时间(ms)	75		≤90	≤90	≤75	30~80	≤75
分闸时间(ms)	50		≤75	≤70	≤60	20~40	≤45
机械寿命(次)	20 000	10 000	10 000	6000/10 000	6000	10 000	10 000
储能电机额定电压(V)	AC110、220 DC110、220		AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220	AC110、220 DC110、220		AC110、220 DC110、220
储能电机额定功率(W)			275	275	450	100	330
储能时(s)			≤15	≤15	≤8	≤15	<15
分合闸线圈额定功率 (W)							
备 注	现代南自	厦门华电	北京北开	湖北开关厂	天水长城	江苏长江电器	镇江伊顿电器

## 5 高压开关柜订货和投标应提供的资料

### 5.1 订货应提供的资料

根据《户内交流高压开关柜订货技术条件》(DL/T 404—1997)的规定,高压开关柜订货时应提供下列资料:

- (1) 使用高压开关柜电网的特点
  - 1) 系统标称电压。
  - 2) 系统中性点的接地方式。
- (2) 高压开关柜运行条件
  - 1) 最高和最低周围空气温度。
  - 2) 危及设备运行的各种因素,如蒸汽、潮气、烟雾、爆炸性气体、过多的尘埃或盐雾、地震危险以及危及设备的振动等(系指不符合本技术条件所规定的内容)。
- (3) 对产品设计类别等级的要求。
- (3) 设备和组件的特性
  - 1) 设备的类别及型号。
  - 2) 相数。
  - 3) 母线组数。
  - 4) 额定电压及额定绝缘水平。
  - 5) 母线、进线柜和馈线柜的额定电流。
  - 6) 额定短时耐受电流及短路持续时间。
  - 7) 额定峰值耐受电流。
  - 8) 各组件的额定参数。
  - 9) 使用地点的系统接线图。
  - 10) 高压开关柜的型号及其外壳、隔板的防护等级。
  - 11) 对外壳(包括柜内、外表面)防锈涂料颜色的要求。
- (4) 断路器、负荷开关、接触器、隔离开关、接地开关及其操动机构的特性
  - 1) 类别及型号。
  - 2) 额定操作电压(应注明交、直流电源),如果操作电压为交流还应明确电源频率。
  - 3) 额定操作压力(空气或液压储能时)。
  - 4) 连锁的要求及其操作程序框图。
- (5) 对测量仪表、继电保护及互感器的要求
  - 1) 各个柜上测量仪表的配置数。
  - 2) 要求制造厂在各馈线柜上设置继电保护装置的展开图。

3) 各功能单元所需配置电流互感器的相数、每台互感器次级铁心数及相应的准确度级。

4) 对电压互感器的要求。

5) 对各功能单元二次回路的要求。

6) 其他凡可能影响订货的一切情况均向制造厂提供。如要求进行特殊试验,在所提供的资料中应注明。

### 5.2 投标应提供的资料

按《户内交流高压开关柜订货技术条件》(DL/T 404—1997)的要求,制造厂应用文字及图形的方式给出下列有关投标资料。

(1) 技术条件及特性

1) 用户所选型号的高压开关柜技术条件。

2) 各种系列产品的额定参数类似于第[5.1(3)]条的内容。

3) 制造厂生产的各系列产品所配断路器、负荷开关、接触器、隔离开关、接地开关、互感器特性和要求类似于第[5.1(4)和5.1(5)]条中所列举的特性及要求。如果产品内装的是负荷开关—熔断器组合电器,还应提供熔断器的安—秒特性曲线。

4) 型式试验报告、鉴定资料及主管部门颁发的鉴定证书和型号证书。

(2) 结构特征

1) 运输主件的最大质量。

2) 设备的外形尺寸。

3) 外部引入线的布置安装方式。

4) 操动机构所消耗的能源及动作时间。

5) 运输和安装所用的器材、工具。

6) 安装、使用说明书。

(3) 断路器、负荷开关、接触器、隔离开关及其操动机构的特性

1) 类别及型号。

2) 额定操作电压(应注明交、直流电源),如果为交流还应注明电源频率。

3) 额定操作压力。

4) 连锁的要求及其操作程序框图。

(4) 向用户推荐的品种、备件清单和各种产品相应功能单元的价格。

## 第9章 操作电源

## 1 直流电源柜

直流电源柜由蓄电池、充电或浮充电（逆变）装置、调压装置、绝缘检测装置、电压检测、蓄电池检测装置及出线回路等组成。直流电源柜的电路如图 4.9-1 所示。具有微机控制装置的直流电源柜电路如图 4.9-2 所示，微机控制直流电源柜的电气接口框图如图 4.9-3 所示。

目前建筑电气工程中常用的蓄电池为阀控式密封铅酸蓄电池,其具有常规性免维护功能;冲击放电性能优良;自放电电流小;不漏液,无酸雾,不腐蚀设备,不伤人,对环境污染小;电池寿命长;结构紧凑,密封性好,占地面积小,抗振性能好;不存在“记忆效应”(指在循环工作时容量的损失)等特点。

充电浮充电装置多采用微机型高频开关整流逆变设备,其特点是提高了充电质量和自动化水平,具有较低的纹波系数、较高的稳流精度和稳压精度,便于运行中的定期放电试验。

蓄电池检测装置可提高自动化水平,及时发现与判断电池的质量,工程需要时可选用。

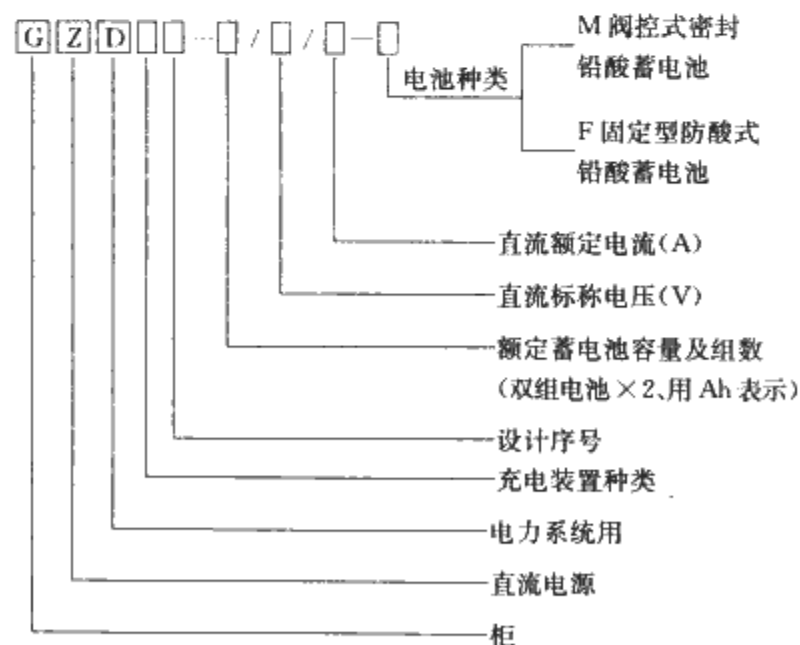
直流绝缘检测装置和电压检测装置选用微机型装置,可提高绝缘检测装置的灵敏性和可靠性。

选用微机型直流电源柜, 充电装置、绝缘检测装置、电压检测装置、蓄电池检测装置等均有 RS-232 或 485 通信接口和有触点的出口, 便于与变电站综合自动化接口和系统调度所接口。

### 1.1 电力工程直流电源柜技术条件

### 1.1.1 型号与基本参数

(1) 型号



## (2) 基本参数

- 1) 额定输入电压 (V): 单相 220; 三相 380。
- 2) 额定输入频率 (Hz): 50。
- 3) 直流额定电压 (V): 50, 115, 230。
- 4) 直流标称电压 (V): 48, 110, 220。

- 5) 充电装置输出直流额定电流 (A): 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 80, 100, 160, 200, 250, 315, 400。
- 6) 蓄电池的额定容量 (Ah): 10~3000。
- 7) 设备负载等级: 一级 (即连续输出额定电流)。
- 8) 稳流精度:  $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 。
- 9) 稳压精度:  $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 。
- 10) 纹波系数:  $0.5\%$ 、 $1\%$ 。

### 1.1.2 通用技术要求

(1) 正常使用的环境条件

- 1) 海拔不超过1000m。
- 2) 设备运行期间周围空气温度不高于40℃，不低于-5℃、-10℃。
- 3) 日平均相对湿度不大于95%，月平均相对湿度不大于90%。
- 4) 安装使用地点无强烈振动和冲击，无强电磁干扰，外磁场感应强度均不得超过0.5mT。
- 5) 安装垂直倾斜度不超过5%。
- 6) 使用地点不得有爆炸危险介质，周围介质不含有腐蚀金属和破坏绝缘的有害气体及导电介质，不允许有霉菌存在。

### (2) 正常使用的电气条件

- 1) 频率变化范围不超过 $\pm 2\%$ 。
- 2) 交流输入电压波动范围不超过 $-10\% \sim +15\%$ 。
- 3) 交流输入电压不对称度不超过 $5\%$ 。
- 4) 交流输入电压应为正弦波, 非正弦含量不超过 $10\%$ 。

### (3) 结构与元器件的要求

- 1) 柜体外形尺寸(柜体框架尺寸)应采用以下两种之一, 根据需要, 柜的宽度和深度可取括号中的调整值。

2200mm×800(1000、1200)mm×600(800)mm(优选值)  
(高×宽×深); 2300mm×800(1000、1200)mm×550  
(800)mm。

高度公差为 $\pm 2.5\text{mm}$ ，宽度公差为 $0_{-2}^0\text{mm}$ ，深度公差为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。

- 2) 柜体应设有保护接地, 接地处应具有防锈措施和明显标志。门应开闭灵活, 开启角不小于  $90^\circ$ , 门锁可靠。

- 3) 紧固连接应牢固、可靠,所有紧固件均具有防腐镀层或涂层,紧固连接应有防松措施。

- 4) 元件和端子应排列整齐, 层次分明、不重叠, 便于维护拆装。长期带电发热元件的安装位置应在柜内上方。

- 5) 柜内安装的元器件均应有产品合格证或证明质量合格的文件。不得选用淘汰的、落后的元器件。

- 6) 导线、导线颜色、指示灯、按钮、行线槽、涂漆, 均应符合国家或行业现行有关标准的规定。

- 7) 设备面板配置的测量表计,其量程应在测量范围内,测量最大值应在满量程 85% 以上。指针式仪表精度应不低于 1.5 级,数字表应采用四位半表。

- 8) 直流空气断路器、熔断器应具有安—秒特性曲线,上下级应大于 2 级的配合级差。

- 9) 重要位置的熔断器、断路器应装有辅助报警触点, 如蓄电池组、交流进线处等。

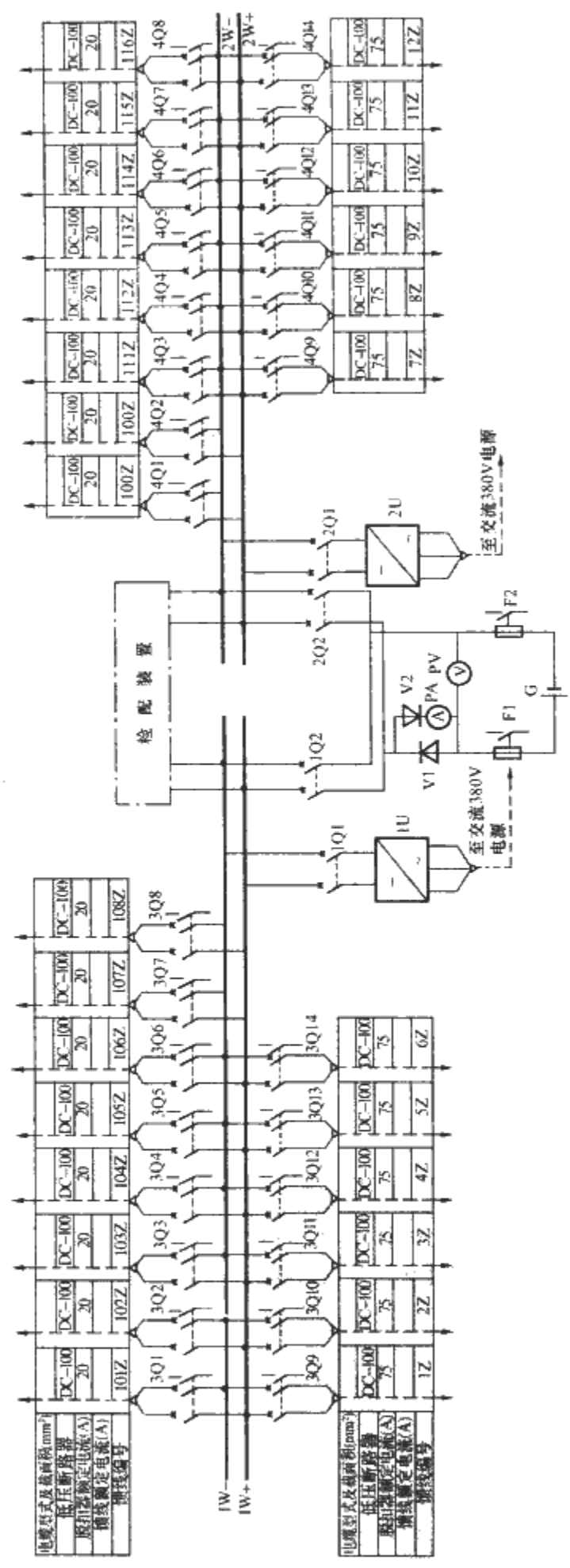


图 4.9-1 直流电源柜电路图

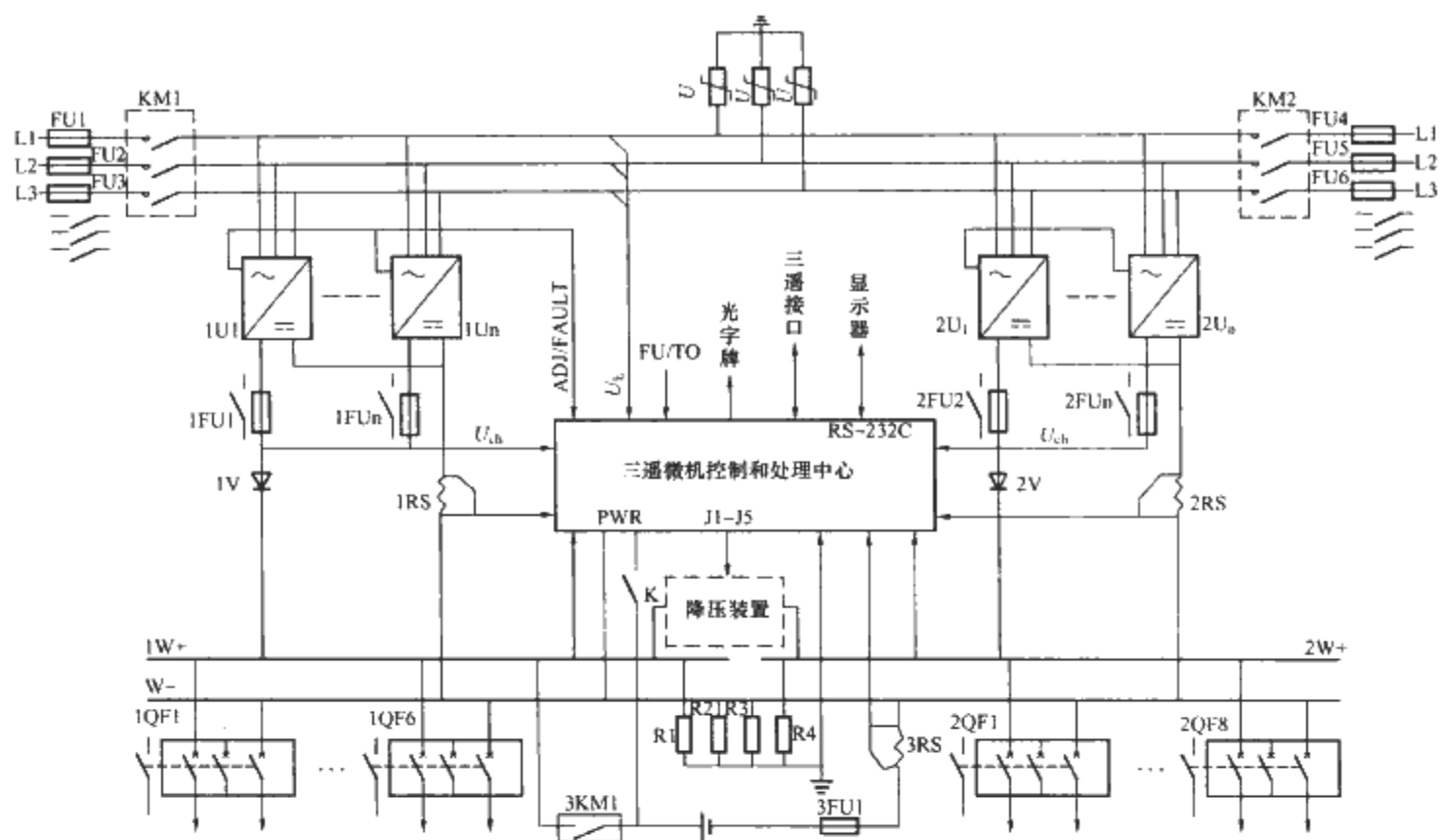


图 4.9-2 GZDW 高频开关型微机控制直流电源柜电路图

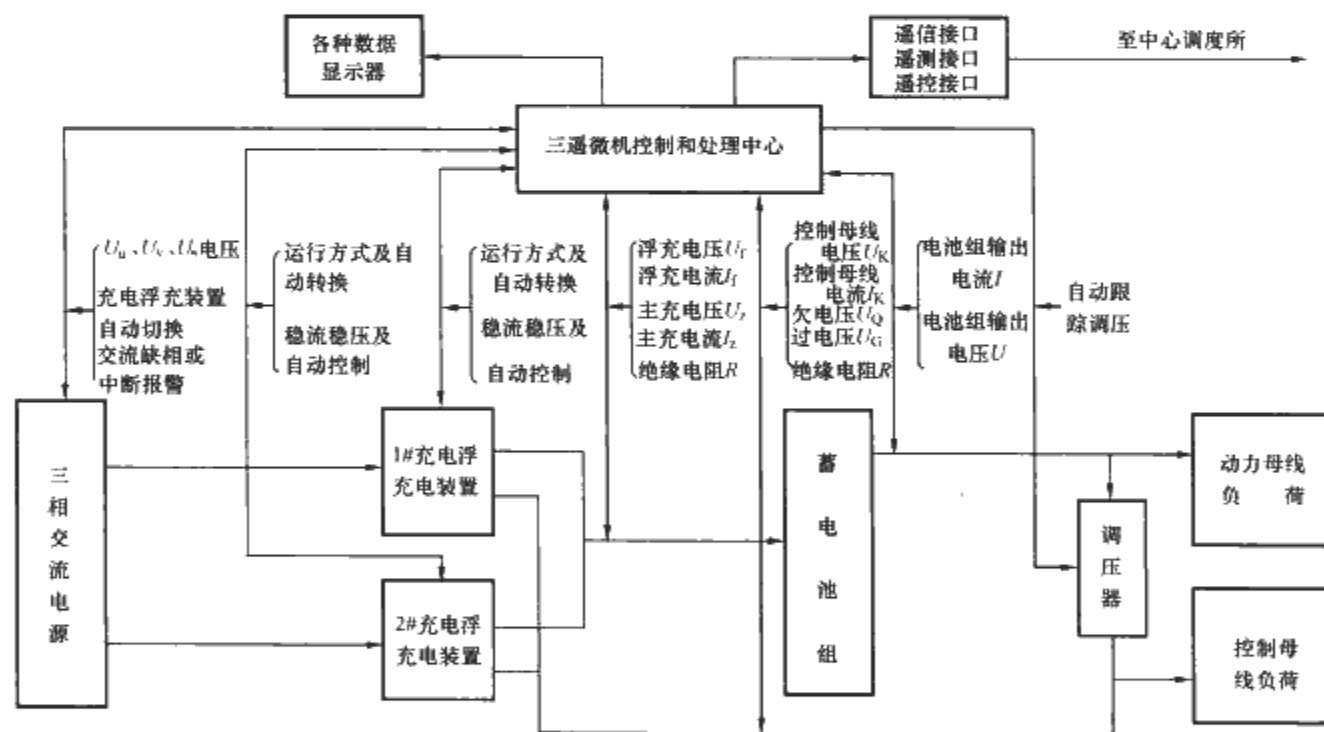


图 4.9-3 GZDW 系列微机控制直流电源柜电气框图

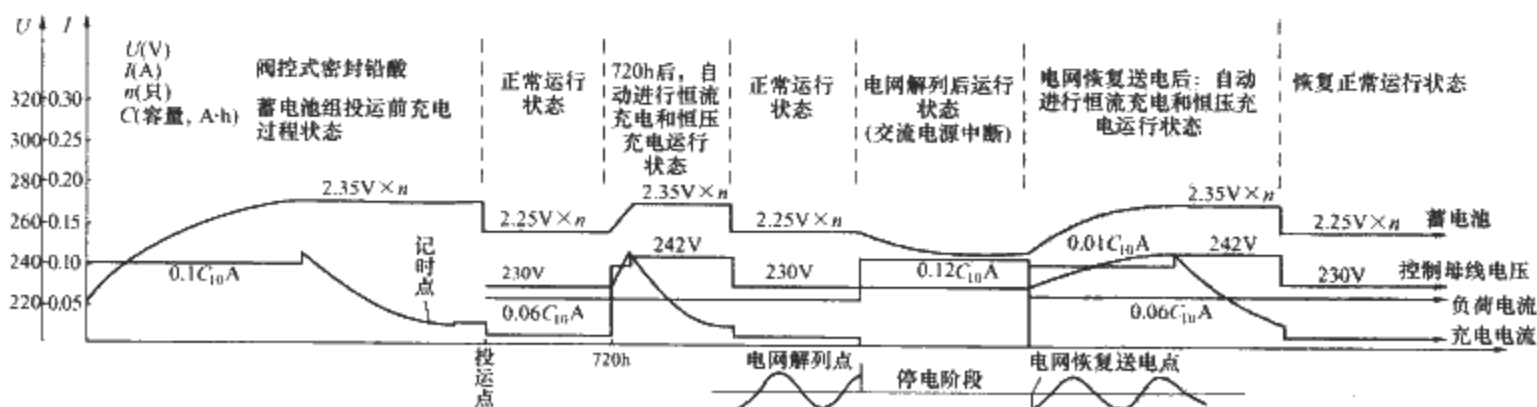


图 4.9-4 阀控式密封铅酸蓄电池运行示波图

10) 馈线开关应并接在直流汇流母线上, 以便于维护、更换。

11) 同类元器件的接插件应具有通用性和互换性, 应接触可靠、插拔方便。插接件的接触电阻、插拔力, 允许电流及寿命, 均应符合有关国家及行业现行标准要求。

#### (4) 电气间隙和爬电距离

柜内两带电导体之间、带电导体与裸露的不带电导体之间的最小距离, 均应符合表 4.9-1 规定的最小电气间隙和爬电距离的要求。

表 4.9-1 电气间隙和爬电距离

额定绝缘电压 $U_i$ 额定工作电压交流均 方根值或直流 (V)	额定电流 $\leq 63A$		额定电流 $\geq 63A$	
	电气间隙 (mm)	爬电距离 (mm)	电气间隙 (mm)	爬电距离 (mm)
$\leq 60$	3.0	5.0	3.0	5.0
$60 < U_i \leq 300$	5.0	6.0	6.0	8.0
$300 < U_i \leq 600$	8.0	12.0	10.0	12.0

注 小母线汇流排或不同极的裸露带电的导体之间, 以及裸露带电导体与未经绝缘的不带电导体之间的电气间隙不小于 12mm, 爬电距离不小于 20mm。

#### (5) 电气绝缘性能

1) 绝缘电阻。柜内直流汇流排和电压小母线, 在断开所有其他连接支路时, 对地的绝缘电阻应不小于  $10M\Omega$ 。

2) 工频耐压。柜内各带电回路, 按其工作电压应能承受表 4.9-2 所规定历时 1min 的工频耐压的试验, 试验过程中应无绝缘击穿和闪络现象。

表 4.9-2 绝缘试验的试验等级

额定绝缘电压 $U_i$ 额定工作电压交流 方均根值或直流 (V)	工作 电压 (kV)	冲击 电压 (kV)	额定绝缘电压 $U_i$ 额定工作电压交流 方均根值或直流 (V)	工作 电压 (kV)	冲击 电压 (kV)
$\leq 60$	1.0	1	$300 < U_i$ $\leq 500$	2.5	12
$60 < U_i$ $\leq 300$	2.0	5			

3) 试验部位。非电连接的各带电电路之间; 各独立带电电路与地 (金属框架) 之间; 柜内直流汇流排和电压小母线, 在断开所有其他连接支路时, 对地之间。

4) 冲击耐压。柜内各带电电路对地 (金属框架) 之间, 按其工作电压应能承受表 4.9-2 所规定标准雷电波的短时冲击电压的试验。试验过程中应无击穿放电。

#### (6) 防护等级

柜体外壳防护等级应不低于 IP20。

#### (7) 噪声

在正常运行时, 自冷式设备的噪声应不大于 55dB (A), 风冷式设备的噪声平均值应不大于 60dB (A)。

#### (8) 温升

充电浮充电装置及各发热元件, 在额定负载下长期运行时, 其各部位的温升均不得超过表 4.9-3 的规定。

表 4.9-3 设备各部件的极限温升

部件或器件	极限温升 (K)	部件或器件	极限温升 (K)
整流管外壳	70	整流变压器、电抗器 B 级绝缘绕组	80
晶闸管外壳	55	铁心表面	不损伤相接触的 绝缘零件
降压硅堆外壳	85		
电阻发热元件	25 (距外表 30mm 处)	母线连接处 铜与铜 铜搪锡—铜搪锡	50 60
与半导体器件的连接处	55		
与半导体器件连接的 塑料绝缘线	25		

#### (9) 蓄电池组容量

蓄电池组按表 4.9-4 规定的放电电流进行容量试验。蓄电池组允许进行三次充放电循环, 第三次循环应达到额定容量, 放电终止电压应符合表 4.9-4 的规定。

表 4.9-4 蓄电池放电终止电压与充放电电流

电池类别	标称 电压 (V)	放电终止 电压 (V)	额定 容量 (A·h)	充放电 电流 (A)
固定型防酸式铅酸蓄电池	2	1.8	$C_{10}$	$I_{10}$
阀控式密封铅酸蓄电池	2	1.8	$C_{10}$	$I_{10}$
	6	5.25 (1.75×3)	$C_{10}$	$I_{10}$
	12	10.5 (1.75×6)	$C_{10}$	$I_{10}$

#### (10) 事故放电能力

蓄电池组按规定的事事故放电电流放电 1h 后, 叠加规定的冲击电流, 进行 10 次冲击放电。冲击放电时间为 500ms, 两次之间间隔时间为 2s, 在 10 次冲击放电的时间内, 直流 (动力) 母线上的电压不得低于直流标称电压的 90%。

#### (11) 负荷能力

设备在正常浮充电状态下运行, 当提供冲击负荷时, 要求其直流母线上电压不得低于直流标称电压的 90%。

#### (12) 连续供电

设备在正常运行时, 交流电源突然中断, 直流母线应连续供电, 其直流 (控制) 母线电压瞬间波动不得低于直流标称电压的 90%。

#### (13) 电压调整功能

设备内的调压装置应具有手动调压功能和自动调压功能。采用无级自动调压装置的设备, 应有备用调压装置。当备用调压装置投入运行时, 直流 (控制) 母线应连续供电。

#### (14) 充电浮充电装置的技术性能

1) 设备应有充电 (恒流、限流恒压充电), 浮充电及自动转换的功能, 并具有软起动特性。

2) 相控型、高频开关电源型充电浮充电装置主要技术参数应达到表 4.9-5 中的规定。

表 4.9-5 充电装置的精度及纹波系数允许值

电装置类别项目名称	充电浮充		相控型		高频开关 电源型
			I	II	
稳压精度			$\leq \pm 0.5\%$	$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 0.5\%$
稳流精度			$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 1\%$
纹波系数			$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	$\leq \pm 0.5\%$

注 I、II 表示充电浮充电装置的精度分类。



3) 高频开关电源模块并机均流要求: 多台高频开关电源模块并机工作时, 其均流不平衡度应不大于 $\pm 5\%$ 。

4) 限压及限流特性: 充电浮充电装置以稳流充电方式运行, 当充电电压达到限压整定值时, 设备应能自动限制电压, 自动转换为恒压充电运行。充电浮充电装置以稳压充电方式运行, 若输出电流超过限流的整定值, 设备能自动限制电流, 并自动降低输出电压, 输出电流将会立即降至整定值以下。

(15) 效率

相控型充电装置的效率应不小于 70%, 高频开关电源型充电装置的效率应不小于 90%。

(16) 保护及报警功能要求

1) 绝缘监察要求。

①设备的绝缘监察装置绝缘监察水平应满足表 4.9-6 的规定。

表 4.9-6 绝缘水平整定值			
输出电压 (V)	普通绝缘监察装置 (k $\Omega$ )	输出电压 (V)	普通绝缘监察装置 (k $\Omega$ )
220	25	48	1.7
110	7	—	—

②当设备直流系统发生接地故障(正接地、负接地或正负同时接地)其绝缘水平下降到低于表 4.9-6 规定值时, 应满足以下要求:

- a. 设备的绝缘监察应可靠动作。
- b. 能直读接地的极性。
- c. 设备应发出灯光信号并具有远方信号触点以便引接屏(柜)的端子。

2) 电压监察要求。

设备内的过压继电器电压返回系数应不小于 0.95, 欠电压继电器电压返回系数应不大于 1.05。当直流母线电压高于或低于规定值时应满足以下要求:

- ①设备的电压监察应可靠动作。
- ②设备应发出灯光信号, 并具有远方信号触点以便引接屏(柜)的端子。
- ③设备的电压监察装置应配有仪表并具有直读功能。

3) 闪光报警要求。

当用户需要时, 设备可设置完善的闪光信号装置和相应的试验按钮。

4) 故障报警要求。

当交流电源失压(包括断相), 充电浮充电装置故障或蓄电池组熔断器熔断时, 设备应能可靠发出报警信号。

(17) 微机监控装置的要求

1) 控制程序。监控装置应具有充电、长期运行、交流中断的控制程序(见图 4.9-4)。

2) 显示及报警功能。

①监控装置应能显示控制母线电压, 动力母线电压、充电电压、蓄电池组电压、充电浮充电装置输出电流等参数。

②监控装置应能对其参数进行设定、修改。若发现下列状态: 交流电压异常、充电浮充电装置故障、母线电压异常、蓄电池电压异常、母线接地等, 应能发出相应信号及声光报警。其保护及报警功能应符合上述第(16)项的规定。

3) 三遥功能。

监控装置内应设有通信接口, 实现对设备的遥信、遥测及遥控。

(18) 电磁兼容性(抗扰度)

1) 振荡波抗扰度要求。装有微机监控装置或高频开关电源的设备应能承受试验严酷等级为三级的振荡波抗扰度试验。

2) 静电放电抗扰度要求。装有微机监控装置或高频开关电源的设备应能承受试验严酷等级为三级的静电放电抗扰度试验。

(19) 谐波电源

装有高频开关电源的设备, 交流输入端谐波电流含有率应不大于 30%。

1.2 阀控式密封铅酸蓄电池技术条件

(1) 蓄电池的工作环境

蓄电池在环境温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$ 条件下应能正常使用(推荐使用的温度为 $5\sim30^{\circ}\text{C}$ )。

(2) 蓄电池结构

1) 一般结构。蓄电池由正极板、负极板、隔板、槽、盖、安全阀、汇流条、端子、电解液等组成。蓄电池结构应保证在使用寿命期间, 不得渗漏电解液。

2) 蓄电池槽、盖、安全阀、极柱封口剂等的材料应具有阻燃性。

3) 蓄电池极性应与极性标志一致。正、负极端子应便于用螺栓连接, 其极性, 端子外形尺寸应符合厂家产品图样。

4) 蓄电池正极板厚度不得低于 3.5mm。

(3) 外观

蓄电池的外观不应有裂纹、变形及污迹。

(4) 开路电压

蓄电池组中各蓄电池的开路电压最大最小电压差值不得超过表 4.9-7 规定值。

表 4.9-7 开路电压最大最小电压差值	
标称电压 (V)	开路电压最大最小电压差值 (V)
2	0.03
6	0.04
12	0.06

(5) 蓄电池连接条压降

蓄电池间的连接条电压降应不大于 8mV。

(6) 气密性

蓄电池除安全阀外, 应能承受 50kPa 的正压或负压而不破裂、不开胶, 压力释放后壳体无残余变形。

(7) 安全阀动作

蓄电池在使用期间安全阀应自动开启闭合, 闭阀压力应在 1~10kPa 范围内, 开阀压力应在 10~49kPa 范围内。

(8) 蓄电池组容量

蓄电池组按规定方法试验, 10h 率容量应在第一次循环不低于 $0.95C_{10}$ , 第 5 次循环应达到 $C_{10}$ , 放电终止电压应符合表 4.9-8 规定。

表 4.9-8 放电终止电压	
标称电压 (V)	蓄电池放电终止电压 (V)
2	1.80
6	5.25 (1.75 $\times$ 3)
12	10.5 (1.75 $\times$ 6)

(9) 大电流放电

蓄电池以  $30I_{10}$  的电流放电 1min, 极柱不应熔断, 其外观不得出现异常。

(10) 荷电保持能力

蓄电池静置 90 天后其荷电保持能力不低于 80%。

(11) 密封反应效率

蓄电池密封反应效率应不低于 95%。

(12) 防爆性能

蓄电池在充电过程中, 蓄电池外部遇明火时, 不应内部爆炸。

(13) 蓄电池组事故冲击放电能力

蓄电池组 (220V 系统) 以预放电电流放电 1h 后, 叠加冲击电流放电 1 次, 冲击电流应符合表 4.9-9 规定。冲击放电时蓄电池组端电压应不低于 202V。

表 4.9-9 预放电电流、冲击电流

标称电压 (V)	预放电电流 (A)	冲击电流 (A)	每组电池数量 (只)
12	$2I_{10}$	$22I_{10}$	19
6	$2I_{10}$	$22I_{10}$	38
2	$1I_{10}$	$8I_{10}$	104

(14) 耐过充电能力

蓄电池用  $0.3I_{10}$  电流连续充电 160h 后, 其外观应无明显变形及渗液。

(15) 过充电寿命

标称电压 2V 蓄电池过充电寿命应不低于 210 天, 标称电压 6V 及以上的蓄电池过充电寿命应不低于 180 天。

(16) 封口剂性能

蓄电池在  $-30^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C}$  温度范围内, 封口剂不应有裂纹与溢流, 密封性应符合第 (6) 项的规定。

(17) 蓄电池组放电特性曲线

1) 蓄电池组应具有  $1I_{10}$  充放电曲线。

2) 蓄电池组应具有  $2I_{10}$ 、 $3I_{10}$ 、 $(4I_{10})$ 、 $(5I_{10})$ 、 $(10I_{10})$  放电曲线。

3) 蓄电池组应具有不同放电电流放电 1h 后, 叠加不同冲击电流 (时间为 0.5s) 的特性曲线。放电电流:  $0$ 、 $1I_{10}$ 、 $2I_{10}$ 、 $3I_{10}$ 、 $(4I_{10})$ 、 $(5I_{10})$ ; 冲击放电电流:  $0 \sim 15I_{10}$ 、 $(20I_{10})$ 、 $(25I_{10})$ 、 $(30I_{10})$ 。

注: 蓄电池容量小于或等于 100Ah 时, 冲击放电电流在  $0 \sim 25I_{10}$  任选 6 点。

(18) 内阻值

制造厂提供的蓄电池内阻值应与实际测试的蓄电池内阻值一致, 允许偏差范围为  $\pm 10\%$ 。

(19) 浮充蓄电池组运行电压偏差值 (现场试验)

蓄电池组在正常浮充状态下运行 3~6 个月, 蓄电池端电压与平均值的偏差应不大于表 4.9-10 规定值。

表 4.9-10 浮充运行电压偏差值 单位: V

标称电压	偏差值
2	$\pm 0.05$
12	$\pm 0.3$

(20) 制造厂家应提供的参数值范围及特性曲线

1) 蓄电池的浮充电压值及范围。

2) 蓄电池浮充电电流值及范围。

3) 蓄电池的充电 (恒压) 电压值及范围。

4) 蓄电池的充电电流值及范围。

5) 浮充电压与温度关系曲线。

6) 蓄电池容量与温度关系曲线。

7) 蓄电池运行时正常的充放电周期。

### 1.3 蓄电池用整流逆变设备技术条件

#### 1.3.1 使用条件

(1) 正常使用的环境条件

1) 使用场所: 户内。

2) 海拔: 1000m 及以下。

3) 周围空气温度:  $-5^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 。

4) 相对湿度: 日平均不大于 95%, 月平均不大于 90%。

5) 安装使用地点无强烈振动和冲击, 无强电磁干扰, 外磁场感应强度不得超过 0.5mT。

6) 安装垂直倾斜度不超过 5%。

7) 使用地点周围无严重尘土、爆炸危险介质、腐蚀金属和破坏绝缘的有害气体、导电微粒和严重的霉菌。

(2) 正常使用的电气条件

1) 频率变化范围:  $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ 。

2) 交流电网电压波动范围: 380V 电网为 342~437V、220V 电网为 198~253V。

3) 交流电网电压不对称度不超过 5%。

4) 交流电网电压波形应为正弦波, 非正弦含量不超过 10%。

(3) 特殊使用条件

超过使用条件, 由用户与制造厂协商解决。

#### 1.3.2 基本技术参数

(1) 基本参数

1) 直流额定电压 (V): 115、230。

2) 直流标称电压 (V): 110、220。

3) 逆变设备直流输入电压范围: 蓄电池组供电时, 电压波动范围为额定值 (单个蓄电池额定电压值与串联个数的乘积) 的  $\pm 15\%$ 。

4) 整流逆变设备额定直流电流 (A): 10、20、30、40、50、80、100、125、160、200、250、315、400。

5) 整流、逆变稳流精度, 见表 4.9-11。

表 4.9-11 整流逆变设备主要技术参数

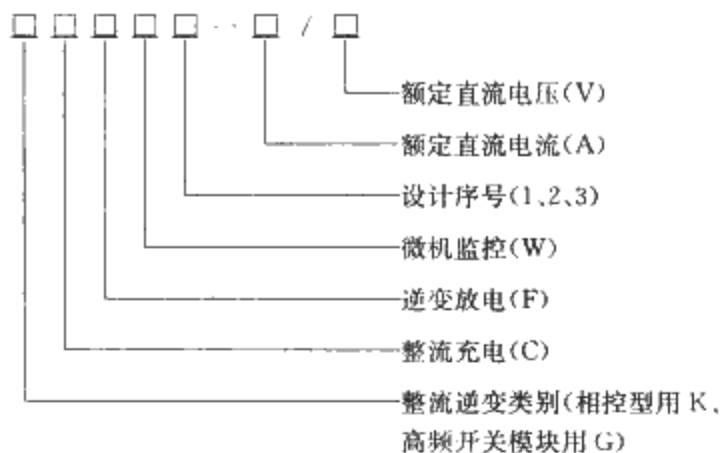
项目名称	整流逆变类别	
	相控整流逆变设备	高频开关整流逆变设备
整流、逆变稳流精度	$\leq 2\%$	$\leq 1\%$
逆变效率	$\geq 70\%$	$\geq 80\%$

6) 噪声。高频开关整流逆变设备不大于 60dB (A), 相控整流逆变设备不大于 65dB (A)。

7) 逆变注入电网 2~19 次谐波的电压总谐波畸变率应不大于 5%, 满足 (GB/T 14549—1993) 《电能质量 公用电网谐波标准》的要求。

8) 逆变注入电网电流的 2~19 次各高次谐波允许含量均不应超过 5% (相控型应不超过 30%)。

(2) 整流逆变设备型号及含义。



如整流与逆变额定电流不相同,则增加逆变额定电流值,并用圆括号括上。

a. 设计序号:1—普通型相控整流逆变;2—微机型相控整流逆变;3—微机型高频开关整流逆变。

b. 若整流逆变设备不带微机监控(普通型),型号编制框图中第四个方框就不出现。如一套整流逆变设备直流输出电流为100A,直流输出额定电压为230V,设计序号为1,则该套电力系统用整流逆变设备型号表示为KCF1—100/230。若该套整流逆变设备采用微机监控,设计序号为2、3,型号表示为KCFW2—100/230, GCFW3—100/230。若整流额定电流为30A而逆变额定电流为10A,型号表示为GCFW3—30(10)/230。

### 1.3.3 技术要求

#### (1) 电气参数

相控整流逆变型、高频开关整流逆变型两类整流逆变设备的主要技术参数应达到表4.9-11中的规定。

#### (2) 逆变要求

1) 恒流逆变额定电流为蓄电池的标准放电电流值 $1I_{10}$ (即 $0.1C_{10}A$ )。放电容量采用安时计量。

2) 蓄电池组逆变时,具备下列条件之一,逆变运行应终止。

①端电压为 $1.8V \times N$ ( $N$ 为单体蓄电池个数),若50%放电时,终止电压为 $1.95V \times N$ 。

②其中某一单体蓄电池电压降至1.8V。

③某一分组蓄电池电压降到某一整定值时。

3) 微机型整流逆变设备在运行中,蓄电池的端电压能自动检测,并具有自动报警、自动停机和自动打印等功能。

#### (3) 保护功能

1) 整流逆变设备在逆变运行中,遇电网失电或交流缺相时,速断保护装置应可靠动作。

2) 整流逆变设备应有限流、过电流、限压保护功能。

#### (4) 报警功能

整流逆变设备交流电源侧的过电压、欠电压、缺相、失电均应报警。直流电源侧的控制母线电压过低与过高、绝缘降低、熔断器熔断、模块状态异常等均应报警。

#### (5) 显示及检测功能

整流逆变设备均能测量和显示蓄电池电源电压及充电电流、逆变放电电流等。带有安时计的整流逆变设备还能测量和显示充电及放电安时数值。

#### (6) 三遥功能

微机型整流逆变设备应具有遥信、遥测、遥控功能。

#### (7) 接口及运行曲线

整流逆变设备电气框图如图4.9-5和图4.9-6所示,运行整定参数曲线如图4.9-7所示,蓄电池组逆变放电参数曲线如图4.9-8所示。

#### (8) 柜体和外观

柜体和外观应按《电力系统直流电源柜订货技术条件》(DL/T 459—2000)中规定的要求设计。

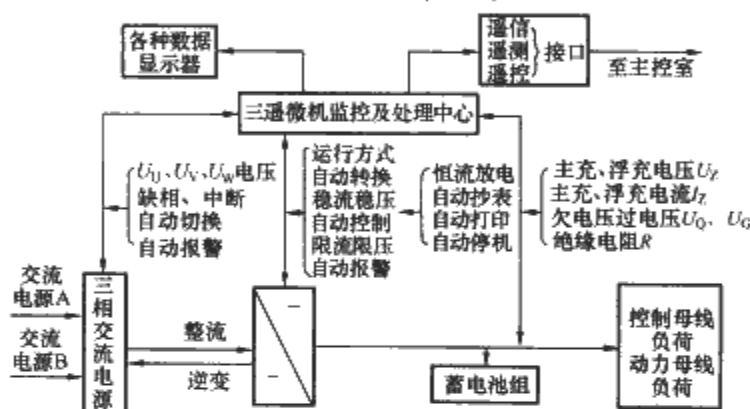


图 4.9-5 KCFW3型微机型相控整流逆变设备框图

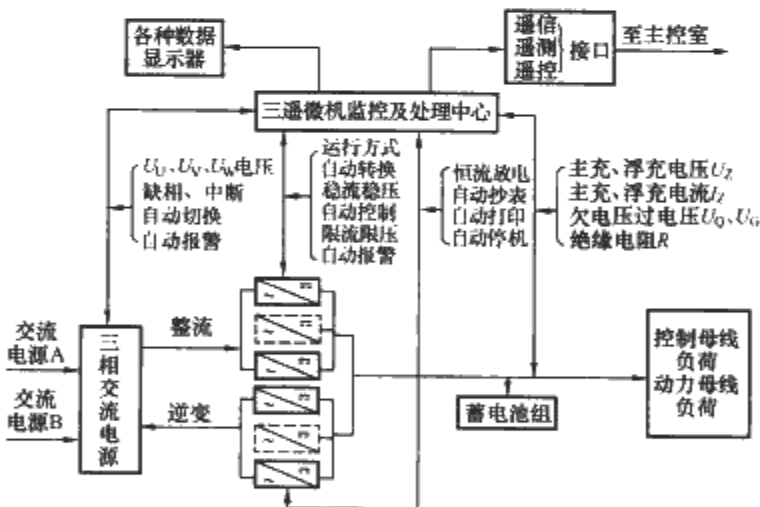


图 4.9-6 GCFW3型微机型高频开关整流逆变设备框图

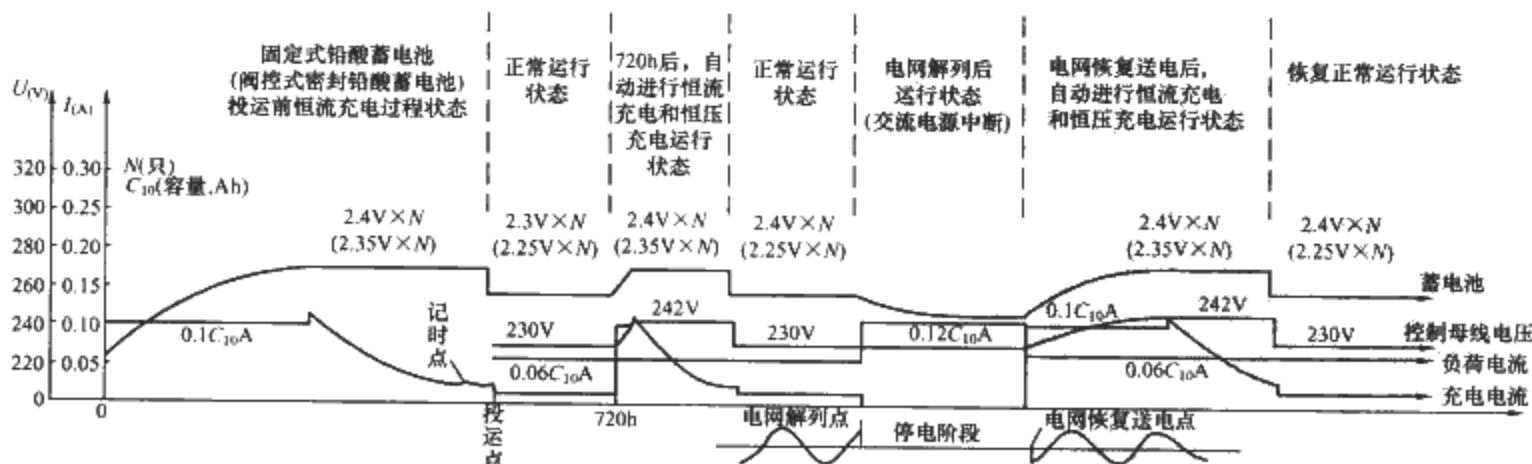


图 4.9-7 KCFW、GCFW型微机型整流逆变设备  
(铅酸蓄电池组)运行整定参数曲线

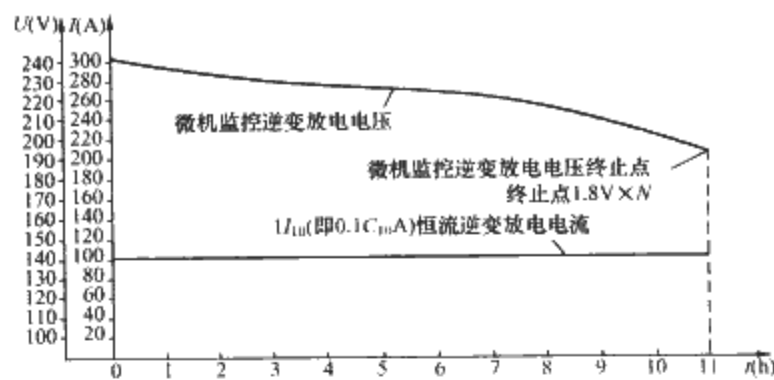
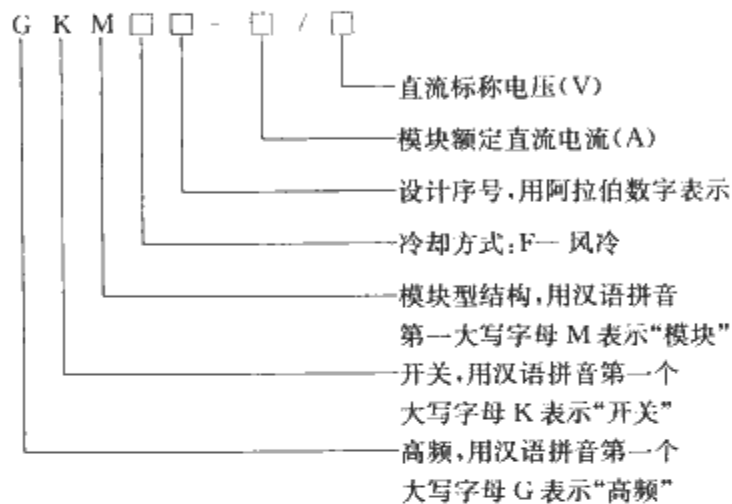


图 4.9-8 铅酸蓄电池组逆变放电参数曲线

#### 1.4 电力用高频开关整流模块技术条件

##### 1.4.1 型号与基本参数

###### (1) 型号



###### (2) 基本参数

- 1) 交流电源标称电压 (V): 单相 220; 三相 380。
- 2) 额定频率 (Hz): 50。
- 3) 直流标称电压 (V): 48, 110, 220。
- 4) 直流额定电压 (V): 50, 115, 230。
- 5) 模块直流额定电流 (A): 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80, 100, 200。
- 6) 稳流精度:  $\pm 1\%$ ,  $\pm 0.5\%$ 。
- 7) 稳压精度:  $\pm 0.5\%$ 。
- 8) 纹波系数: 0.5%。
- 9) 均流不平衡度:  $\pm 5\%$ 。

###### (3) 负荷等级

负荷等级为一级 (连续输出额定电流)。

##### 1.4.2 通用技术要求

###### (1) 正常使用的环境条件

- 1) 海拔 2000m 及以下;
- 2) 周围空气温度  $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 日平均相对湿度不大于 95%，月平均相对湿度不大于 90%。
- 4) 安装使用地点无强烈振动和冲击，无强电磁干扰。
- 5) 使用地点不得有爆炸危险介质，周围介质不含有腐蚀金属和破坏绝缘的有害气体及导电介质。

###### (2) 正常使用的电气条件

- 1) 交流电源电压波动范围不超过  $\pm 15\%$  的标称电压。  
220V (单相) 波动范围: 187~253V。  
380V (三相) 波动范围: 323~437V。
- 2) 交流电源频率变化范围不超过  $50 \times (1 \pm 5\%) \text{ Hz}$ 。
- (3) 安全要求  
应符合《低压直流电源设备的性能特性》

(GB 17478—2004) 中的有关规定。

###### (4) 绝缘电阻

产品输入回路对地、输出回路对地、输入对输出之间绝缘电阻应不小于  $10\text{M}\Omega$ 。

###### (5) 工频耐压

产品各带电回路，按其工作电压应能承受表 4.9-12 所规定、历时 1min 的工频耐压试验，试验过程中应无绝缘击穿和闪络现象。

表 4.9-12 绝缘试验的试验等级

额定绝缘电压 $U_i$ 额定工作电压交流均方根值或直流 (V)	工频电压 (kV)	冲击电压 (kV)
$\leq 60$	1.0	1
$60 < U_i \leq 300$	2.0	5
$300 < U_i \leq 500$	2.5	12

###### (6) 冲击电压

产品各带电回路，按其工作电压应能承受表 4.9-12 所规定标准雷电波的短时冲击电压试验。试验过程中应无击穿放电。

###### (7) 电气技术性能

1) 产品的电气技术性能。应符合《电气系统直流电源柜订货技术条件》(DL/T 459—2000)、《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004) 的规定。具有自动稳流、稳压、均流、限流性能，并应具有软启动特性。

2) 直流输出电压调节范围。应为其标称值的 90%~130%，也可根据用户要求设置。

3) 稳流精度。当交流电源电压在标称值的  $\pm 15\%$  范围内变化、直流输出电压在调节范围内变化时，直流输出电流在额定值的 20%~100% 范围内任一数值上应保持稳定，产品的稳流精度应不大于  $\pm 1\%$  或  $\pm 0.5\%$  的规定。

4) 稳压精度。当交流电源电压在标称值  $\pm 15\%$  范围内变化、直流输出电流在额定值的 0~100% 范围内变化时 (电阻性负载)，直流输出电压在调节范围内任一数值上应保持稳定，产品的稳压精度应不大于  $\pm 0.5\%$ 。

5) 纹波系数。当交流电源电压在标称值的  $\pm 15\%$  范围内变化，电阻性负荷电流在额定值的 0~100% 范围内变化时，直流输出电压在调节范围内任一整数上，产品的纹波系数应不大于 0.5%。

6) 噪声。在正常运行带额定电流电阻性负载时，环境噪声不大于 40dB (A)，自冷式模块的噪声应不大于 50dB (A)，风冷式模块的噪声应不大于 55dB (A)。

###### 7) 限流及限压性能。

① 当输出直流电流在 50%~110% 额定值中任一数值时，应能自动限流，降低输出直流电压，并当过负荷或短路排除以后，能自动地将输出直流电压恢复到正常值工作。

② 当输出直流电压上升到限压整定值时 (130% 标称电压可调)，应能正常工作，并当恢复到正常负荷条件以后，能自动地将输出直流电流恢复到正常值工作。

8) 效率与功率因数。整流模块效率应不低于 90%，功率因数应不小于 0.9。

9) 并机均流性能。在多个模块并联工作状态下运行时，各模块承受的电流应能做到自动均分负荷，实现均流。在 2 台及以上模块并联运行时，其输出的直流电流为额定值时，均流不平衡度应不大于  $\pm 5\%$  额定电流值。

10) 保护及信号功能。

①交流输入过、欠电压保护。当交流输入电压超过规定的波动范围时 [220V (单相) 波动范围为 187~253V。380V (三相) 波动范围为 323~437V], 整流模块应自动进行保护并延时关机, 当电网电压正常后, 应能自动恢复工作。

②直流输出过、欠电压保护。应设置直流输出过、欠电压保护, 其整定值可由制造厂根据用户要求整定。当直流输出电压值超过整定值时, 应进行保护 (报警或关机), 故障排除后, 应能人工恢复工作。

③过电流保护。其整定值可由制造厂根据用户要求整定。当直流输出电流超过整定值时, 应进行保护 (报警或关机), 过电流消失, 应能正常工作。

④信号功能。应能发交流失电, 过、欠电压; 直流输出过、欠电压、过电流; 整流模块故障信号, 并应具备外引接点输出或标准通信接口。

11) 温升。在额定负荷下长期连续运行, 模块内部各发热元器件及各部位的温升应不超过表 4.9-13 中的规定。

表 4.9-13 模块各部件极限温升 单位: K

部件或器件	极限温升
整流管外壳 (散热器)	70
MOS (IGBT) 管衬板	70
高频变压器、电抗器	80
电阻元件	25 (距外表 30mm 处)
与半导体器件的连接处	70
与半导体器件的连接处的塑料绝缘线	25
印刷电路板铜箔	20

12) 振荡波抗扰度。应能承受《电磁兼容试验和测量技术振荡波抗扰度试验》(GB/T 17626.12—1998) 中规定的三级振荡波抗扰度。

13) 静电放电抗扰度。应能承受《电磁兼容试验和测量技术静电放电抗扰度试验》(GB/T 17626.2—1998) 中规定的三级静电放电抗扰度。

14) 谐波电流含量。在模块输入端施加额定频率的交流电源标称电压时, 在交流输入端产生的各高次谐波电流含有率应不大于 30%。

15) 软启动时间。软启动时间可根据用户要求设定, 一般为 3~8s。

16) 平均故障间隔时间 (MTBF)。在额定输入、额定输出功率和常温的环境下, MTBF 应不小于 40 000h。

(8) 模块结构及外观要求

1) 模块外形尺寸和重量, 由“企业标准”予以规定。

2) 模块的外壳应采用防锈蚀、防老化、防火、不产生有害气体, 具有一定强度, 不易变形的材料制作。

3) 模块冷却方式为自冷式或风冷式。

4) 模块外壳应完好无损, 四周无突出异物, 平整光滑, 应适应电力系统屏柜的安装要求。模块正面应朝向巡视和操作人员, 应能带电更换。

5) 模块应设置报警信号。根据用户要求, 模块正面可设置开/关机、均/浮充转换操作按键, 操作按键应安装整齐牢固。信号灯具标字符号应正确、整齐、完整。

6) 模块背面应方便接线、行线和试验; 交流输入电源、直流输出电源、通信接口等接线端子应正确完整, 标字符号明确清晰。

7) 模块之间的连接及对外连接应采用接触紧固, 不易松动的插头和抗干扰、能屏蔽的多芯连接电线、电缆。

8) 模块背面应有明显接地标志, 应通过屏柜可靠接地。

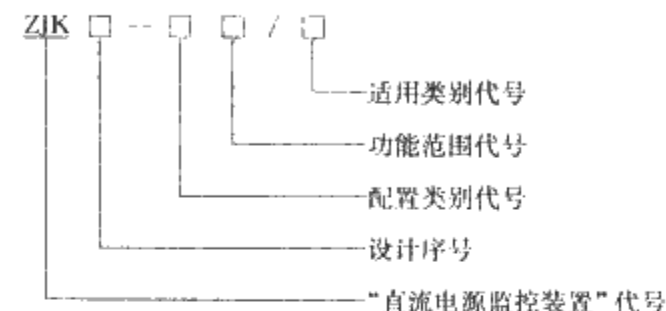
9) 多台模块安装时, 应满足其通风散热要求。

10) 模块内、外部的各部件、元器件的安装, 应符合《低压直流电源设备的性能特性》(GB 17478—2004) 有关规定要求。

## 1.5 电力用直流电源监控装置技术条件

### 1.5.1 型号与基本参数

(1) 型号



配置类型—监控装置按适用的蓄电池和充电装置配置分为 3 类, 其代号及含义如下:

I—1 组蓄电池加 1 套充电装置。

II—1 组蓄电池加 2 套充电装置 (其中 1 套充电装置可退出)。

III—2 组蓄电池加 3 套充电装置, 即 2 组蓄电池加 2 套充电装置和 1 套公用的充电装置。

功能范围—监控装置按照监控功能及其专用监测装置的配置分为 3 类, 其代号及含义如下:

A—装置除具有充、放电监控、系统工况监测功能外, 尚具有绝缘监测功能和蓄电池监测功能。

B—装置具有充、放电监控、系统工况监测功能, 具有与专用直流绝缘检测装置 (1.5.5) 和蓄电池检测装置 (1.5.6) 的通信接口和系统、支路绝缘状态和蓄电池状态显示功能。

C—装置仅具有充、放电监控和系统工况监测功能。

适用类别—监控装置按适用的充电装置类别分为 2 类, 其代号和含义如下:

G—适用于高频开关整流模块充电装置;

K—用于晶闸管充电装置。

(2) 基本参数

1) 基本要求。监控装置的基本参数应满足《电力工程直流系统设计技术规定》(DL/T 5044—2004) 中、《电测量及电能计量装置设计技术规程》(DL/T 5137—2001) 中的有关要求。

2) 检测容量及采集周期。

①模拟量: 16 路。

②开关量: 16 路 (可扩展)。

③状态变化量采集周期: 小于或等于 1s。

④异常报警量采集周期: 小于或等于 0.5s。

3) 检测范围。

①绝缘电阻: 0~999kΩ。

②温度: -5℃~+60℃。

③电压: AC 0~500V; DC 0~400V。

4) 直流电压调节范围。

220V: 176~286V (360V)。

110V: 88~143V (180V)。



5) 充电时间调节范围: 0~99h。

6) 监测精度。

①绝缘电阻。母线测量允许偏差为绝缘报警整定值的 $\pm 5\%$ , 支路为 $\pm 10\%$ 。

②直流电流。在额定电流的 $20\% \sim 100\%$ 范围内, 测量误差为 $\pm 2\%$ 。

③直流电压。在额定电压的 $90\% \sim 130\%$ 范围内, 测量误差为 $\pm 0.5\%$ 。

7) 报警精度: 为整定值的 $\pm 2\%$ 。

8) A/D转换误差: 不大于 $0.5\%$ 。遥信正确率不小于 $99\%$ 。

9) 平均无故障时间(MTBF)。正常运行环境下, 不少于5000h。

### 1.5.2 基本功能要求

#### (1) 基本要求

监控装置的基本要求应满足标准《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001)中、《35~110kV无人值班变电所设计规程》(DL/T 5103—1999)中和《电力系统直流电源柜订货技术条件》(DL/T 459—2000)中的有关要求。

#### (2) 信息采集、处理管理功能

模数转换的精度、线性度应满足《交流采样远动终端技术条件》(DL/T 630—1997)和本技术条件中基本参数的要求。

#### (3) 显示功能

1) 监控装置应显示下列信息:

- ①直流系统母线电压。
- ②蓄电池组输出电压、电流。
- ③充电装置输出电压、电流。
- ④直流母线电压过高、过低。
- ⑤直流系统接地及其位置。
- ⑥充电装置运行方式切换、装置故障。
- ⑦馈线故障、跳闸。
- ⑧直流系统画面。

2) 数据显示应实时、准确、可靠、清晰, 并具备各种信息传输手段, 提供打印接口。

#### (4) 控制功能

监控装置能对蓄电池、充电装置等直流设备的运行方式进行设定。根据设定, 对被监控设备的控制、调节和运行方式变更实施正确管理, 并可实现自动和手动控制选择。

#### (5) 管理功能

监控装置应对系统内的蓄电池、充放电装置、主要馈线等监控设备的运行方式、参数设定、更改及其建立、扩充、增加和删除实施管理。

1) 安全管理。监控装置能保证系统操作过程的安全, 应执行操作命令, 明确操作人员权限范围, 并执行安全操作规程。操作过程应有记录, 并可打印输出。

#### 2) 保护和故障管理。

①应根据被监控设备的工作状态和参数变化趋势, 及时、准确判断异常或故障类型, 并自动实施异常工况限制、故障保护和声光报警显示功能。

②报警应分为紧急报警和一般报警两类。系统异常或故障时应自动或人工转入报警画面, 并能打印故障类型、故障位置和故障时间。

③监控装置应提供用于信号报警输出的无源触点。

#### (6) 通信功能

1) 监控装置能与监控中心远程上位机进行通信, 通过上位机实现遥信、遥测。

2) 监控装置应提供满足用户要求的通信接口(见表4.9-16)和通信规约。通信接口应用标准接口或光纤通信接口。

3) 通信规约应符合《循环式远动规约》(DL 451—1991)或《远动设备及系统第5部分: 传输规约》(DL/T 634—2002)的基本要求, 并应与装置所在中心监控网络的规约协调。通信规约应选用国际标准规约和国家标准规约。

#### (7) 自检和人机对话功能

监控装置应具有在线诊断能力和人一机联系功能。

### 1.5.3 电气与安全性能要求

1) 监控装置的电气和安全性能应满足《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2001)中和《电力系统直流电源设备通用技术条件及安全要求》(JB/T 5777.4—2000)中的有关要求。

2) 监控装置应具备实时性、可靠性、友好性、扩充性和互连性。

3) 运行参数和运行方式应具有自适应性:

①按照设定、浮充电电压、电流和均衡充电电压、电流可随温度改变实现自动调整。

②根据设定, 能实现正常工作方式下的浮充→均衡充电和均衡充电→浮充电的自动转换; 异常工作方式下和事故状态下的浮充电→均衡充电和均衡充电→浮充电的自动转换; 手动工作方式下的浮充电→均衡充电和均衡充电→浮充电的转换。

4) 监控装置能承受表4.9-14所规定的严酷等级的抗扰度试验, 试验后产品性能应满足监测精度、报警精度、A/D转换误差和基本功能要求。

表 4.9-14 抗扰度试验项目

序号	项目名称	耐受严酷等级	执行标准
1	1MHz和100kHz振荡波	3	GB/T 1726.12
2	静电放电	3	GB/T 1726.2
3	射频电磁场辐射	待定	GB/T 1726.3
4	电快速瞬变脉冲群振荡波	待定	GB/T 1726.4
5	浪涌(冲击)	待定	GB/T 1726.5
6	射频场感应的传导骚扰	待定	GB/T 1726.6
7	工频磁场	待定	GB/T 1726.8
8	阻尼振荡磁场	待定	GB/T 1726.10
9	电压短时中断	0	GB/T 1726.11

#### 5) 绝缘性能:

①绝缘电阻。监控装置下列部位的绝缘电阻应满足表4.9-15的规定。

- a. 各独立电路与地之间。
- b. 无电气联系的各电路之间。

表 4.9-15 绝缘电阻和耐受电压值

额定绝缘电压 $U_i$ (V)	绝缘电阻 (M $\Omega$ )	工频耐受电压值 (kV)	冲击耐受电压值 (kV)
$\leq 60$	$\geq 10$	1.0 (1.5)	1
$60 < U_i \leq 300$		2.0 (3.0)	5

注 括号内数据为直流介质强度试验值。

②工频耐压和冲击耐压。监控装置各电路对地之间, 应能承受表4.9-15规定的工频耐压和冲击耐压试验。

6) 高低温试验。不加激励量的监控装置应能耐受 $-5^{\circ}\text{C}$



下的低温试验和+40℃下的高温试验。实验结束后，应在标准大气条件下恢复2~3h后检查试品性能，不应出现不可恢复的损坏，其性能应满足基本功能要求。

7) 振动（正弦）。振动响应、振动耐久装置应能承受《电气继电器第21部分测量继电器和保护设备的振动、撞击、颠簸和抗振试验第1节振动试验（正弦的）》（IEC 60255—21—1：1993）中规定的严酷等级为1级的振动响应试验和严酷等级为1级的振动耐久试验，试验期间及试验后的装置性能应符合该标准有关规定的要求。

8) 冲击、碰撞。冲击响应、冲击耐久、碰撞装置应能承受《量度继电器和保护装置的冲击与碰撞试验》（GB/T 14537—1993）中规定的严酷等级为1级的冲击响应、冲击耐久和碰撞试验，试验期间及试验后的装置性能应符合该标准有关规定的要求。

1.5.4 设计和结构

1) 监控装置的外形尺寸和安装尺寸应符合《电力系统二次回路控制、保护屏及柜基本尺寸系列》（GB/T 7267 2003）的要求，并适应电力系统屏柜的安装要求。

2) 监控装置的外壳应采用防锈蚀、阻燃、防潮、不变形、具有足够的机械强度、不产生有害气体的材料制作。外壳应平整光滑、无突出异物。

3) 外壳防护等级应不低于IP30。

4) 监控装置的正面应朝向操作者。装置能在系统带电工况下更换电器插板。

5) 监控装置面板的操作按键、指示、信号灯等元件应选用符合国家或行业相关标准的产品，应布置整齐、美观、安装牢固、字符正确、清晰。

6) 监控装置的背面应能方便接线、检测和试验、电源输入、信号输入、输出接口等接线端子应正确、完整，端子定义、标志、符号应明确、清晰、耐久。连接电缆应采用屏蔽良好的多芯电缆。端子和引线应采用阻燃型产品。

7) 监控装置的背部应具有接地端子，并有明显的标志，通过外壳可靠接地。

表 4.9-16 直流电源系统 I/O 接口表

内容	名 称	直流柜或就地		直流系统监控装置		厂、站监控系统	
		开关量	模拟量	开关量	模拟量	开关量	模拟量
1	蓄电池组及其回路（按每组蓄电池统计）						
1.1	蓄电池组电流		✓		✓		✓
1.2	蓄电池组电压		✓		✓		✓
1.3	蓄电池组放电试验电流		✓				
1.4	蓄电池组回路开关状态	✓		✓		✓	
1.5	蓄电池组回路开关事故跳闸	✓		✓		✓	
1.6	蓄电池组过充电	△		△			
1.7	蓄电池温度		△		△		
1.8	蓄电池室温度		△		△		
2	充电装置（按每套充电装置统计）						
2.1	充电装置直流输出电压		✓		✓		△
2.2	充电装置直流输出电流		✓		✓		△
2.3	充电装置直流侧开关状态	✓		✓		△	
2.4	充电装置交流侧开关状态	✓		✓		△	
2.5	充电装置直流侧开关事故跳闸	✓		✓		✓	
2.6	充电装置故障	✓		✓		△	
2.7	整流模块过热	△		△		△	
2.8	交流电源自动切换	✓		✓		✓	

续表

内容	名 称	直流柜或就地		直流系统监控装置		厂、站监控系统	
		开关量	模拟量	开关量	模拟量	开关量	模拟量
3	直流母线及绝缘监测装置（按每段母线统计）						
3.1	直流母线电压		✓		✓		✓
3.2	直流母线电压异常	✓		✓		✓	
3.3	直流系统接地	✓		✓		✓	
3.4	绝缘监测装置故障	✓		✓		△	
3.5	母线分段开关状态	✓		✓		△	
4	直流馈线						
4.1	重要馈线开关状态	✓		✓		△	
4.2	重要馈线开关跳闸	✓		✓		✓	

注 1. 表中“✓”表示该项应列入。  
2. 表中“△”表示该项有条件时或需要时可列入。

1.5.5 直流绝缘检测装置的技术要求

1) 直流系统发生接地故障或绝缘电阻低于整定值（见表 4.9-17）时，直流绝缘检测装置应可靠动作。

表 4.9-17 绝缘电阻整定值

系统电压（V）	绝缘整定值（kΩ）
220	25
110	7
48	1.7

2) 装置应能测量出直流系统一极或二极绝缘下降和绝缘电阻数值，当低于整定值时应能发出报警信号。

3) 检测直流系统支路绝缘的绝缘监测装置应具有以下功能：

- ①在线巡检直流支路绝缘状况。
- ②显示并记录接地支路编号、极性绝缘电阻值（测量误差不大于整定值的10%）及发生时间。
- ③分别或同时检测直流母线正极、负极绝缘状况，显示并记录接地母线的极性、电阻值及发生时间。
- ④具备直流母线的电压监察功能，显示并记录母线电压数值（测量误差不大于整定值的0.5%），具有母线电压越限报警功能。
- ⑤具有直流系统绝缘电阻、母线电压越限定值的设定功能。
- ⑥具有报警延时、信号解除功能和延时断开支路功能（选择项）。
- ⑦检测馈线支路数应大于32路，采用传感器，应减少支路电容影响，安装方便。
- ⑧满足与电源监控装置或上位机的通信要求，具有标准的通信接口和通信规约，具有无源输出触点。

1.5.6 蓄电池检测装置的技术要求

1) 能在蓄电池浮充电工况下，在线监测单体（或分组）蓄电池的电压值，当电压异常并偏离设定值时应能显示和报警。

2) 能在蓄电池均衡充电工况下，在线监测单体（或分组）蓄电池的电压值，当电压异常并偏离设定值时，应能显示和报警。

3) 能在线检测蓄电池充放电曲线，自动检测蓄电池内电阻值（选择项）。

4) 蓄电池在正常运行工况下，能监测、记录并显示蓄电池温度。

5) 能检测蓄电池放电安时数（选择项）。

- 6) 应具有巡检功能。
- 7) 满足与电源监控装置的通信要求, 具有标准的通信接口和通信规约。具有无源输出触点。
- 8) 低电压或过电压报警电压值可根据蓄电池类型、环境温度自行设定。
- 9) 蓄电池异常或故障时, 能显示蓄电池顺序号及单个蓄电池电压。

1.6 GZD、GZDW 系列直流电源柜型号及规格

(1) GZD、GZDW 系列直流电源柜 10 个主接线方案适用范围

表 4.9-18 列出了 10 个主接线方案的适用范围。

表 4.9-18 GZD、GZDW 系列直流电源柜 10 个主接线方案适用范围

序号	产品型号	说 明	适用范围
1	GZD30、GZDW30	单母线分段、单组电池、两台双端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线合二为一, 无降压回路	发电厂或大型变电站
2	GZD31、GZDW31	单母线、单组电池、两台双端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线合二为一, 无降压回路	发电厂或大型变电站
3	GZD32、GZDW32	单母线分段、单组电池、两台双端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线分开, 有自动和手动调压装置	10 ~ 220kV 变电站、中小型发电厂
4	GZD33、GZDW33	单母线、单组电池、两台三端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线分开, 有自动和手动调压装置	10 ~ 220kV 变电站、中小型发电厂

续表

序号	产品型号	说 明	适用范围
5	GZD34、GZDW34	单母线分段、单组电池、两台三端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线分开, 有自动和手动调压装置	10 ~ 220kV 变电站、中小型发电厂
6	GZD35、GZDW35	单母线、单组电池、两台三端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线分开, 有自动和手动调压装置	10 ~ 220kV 变电站、中小型发电厂
7	GZD40、GZDW40	单母线、双组电池、三台双端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线合二为一, 无降压装置	重要发电厂或大型变电站
8	GZD41、GZDW41	单母线、双组电池、两台双端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线分开, 有自动和手动调压装置	10 ~ 220kV 变电站、中小型发电厂
9	GZD42、GZDW42	单母线分段、双组电池、三台双端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线分开, 有自动和手动调压装置	重要发电厂、重要大中型变电站
10	GZD43、GZDW43	单母线、双组电池、两台三端输出充电浮充电装置, 控制母线与动力母线分开, 有自动和手动调压装置	10 ~ 220kV 变电站、中小型发电厂

(2) GZD、GZDW 系列直流电源柜选型规格参数

表 4.9-19 列出了 110V 直流电源柜的选型规格参数。

表 4.9-20 列出了 220V 直流电源柜的选型规格参数。

(3) GZD、GZDW 系列直流电源柜原理接线

GZD、GZDW 系列直流电源柜常用的电路图如图 4.9-9

和图 4.9-10 所示。

GZD、GZDW 系列直流电源柜的降压装置展开图, 分别如图 4.9-11 和图 4.9-12 所示。绝缘监察装置展开图, 如图 4.9-13 和图 4.9-14 所示。电压监察装置展开图, 如图 4.9-15 和图 4.9-16 所示。

表 4.9-19 110V 直流电源柜选型规格参数表

型号规格	项目	交流输入		控制母线			合闸母线			直流电动机启动		蓄电池所需柜(屏)数		
		电压 (V)	容量 (kVA)	最大经常 性负荷 电流 (A)	事故时负荷		馈出 路数	合闸冲击负荷		馈出 路数	脉冲负荷		阀控式密封 铅酸电池	
					时间 (s)	电流 (A)		时间 (s)	电流 (A)		时间 (s)	电流 (A)	单电池组	双电池组
GZD、GZDW-10/110	380V ±10%	2	8	1	<7.5	4~6	0.3	<120	4~6	1~30	50	2	2	
GZD、GZDW-20/110		3	10		<15			<240			200	2	2	
GZD、GZDW-40/110		4.5	15		<30			<480			100~400	2	2	
GZD、GZDW-60/110		7	20		<45		200~500	5~6	100~400		2	3		
GZD、GZDW-80/110		8	25		<60						2	3		
GZD、GZDW-100/110		10	30		<70						3	3		
GZD、GZDW-120/110		11	35		<85						200~700	3	4	
GZD、GZDW-150/110		13	40		<110							3	4	
GZD、GZDW-200/110		15	45		<150							4	4	
GZD、GZDW-250/110		17	50		<180				4			5		
GZD、GZDW-300/110		22	60		<220				400~1000		4	5		
GZD、GZDW-350/110		25	70		<260						4			
GZD、GZDW-400/110		30	80		<300						5			
GZD、GZDW-500/110		37	100		<370						5			
GZD、GZDW-600/110		42	120		<450						5			
GZD、GZDW-800/110		55	150		<600						6			
GZD、GZDW-1000/110		70	200		<800				6					

注 如增加合闸整流器, 需增加一面柜。

表 4.9-20 220 直流电源柜选型规格参数表

项目  型号规格	交流输入		控制母线				合闸母线			直流电动机启动 脉冲负荷		蓄电池所需柜（屏）数				
	电压 （V）	容量 （kVA）	最大经常 性负荷 电流 （A）	事故时负荷		馈出 路数	合闸冲击负荷		馈出 路数	时间 （s）	电流 （A）	阀控式密封 铅酸电池				
				时间 （s）	电流 （A）		时间 （s）	电流 （A）				单电池组	双电池组			
GZD、GZDW—10/220	380V ±10%	3	8	1	<7.5	4~6	0.3~ 0.5	<120	4~8	1~30	50	2	3			
GZD、GZDW—20/220		5	10		<15			<240			200	2	3			
GZD、GZDW—40/220		8	15		<30			<480			100~ 400	2	3			
GZD、GZDW—60/220		12	20		<45			200~ 500				4~8	3	4		
GZD、GZDW—80/220		14	25		<60										3	4
GZD、GZDW—100/220		18	30		<70											
GZD、GZDW—120/220		20	35		<85						200~ 700		3	4		
GZD、GZDW—150/220		23	40		<110								4	6		
GZD、GZDW—200/220		28	45		<150								4	6		
GZD、GZDW—250/220		33	50		<180			5				8				
GZD、GZDW—300/220		40	60		<220			5				8				
GZD、GZDW—350/220		46	70		<260			400~ 1000			5					
GZD、GZDW—400/220		54	80		<300						6					
GZD、GZDW—500/220		68	100		<370						6					
GZD、GZDW—600/220		82	120		<450											
GZD、GZDW—800/220		105	150		<600											
GZD、GZDW—1000/220		130	200		<800											

注 如增加合闸整流器,需增加一面柜。

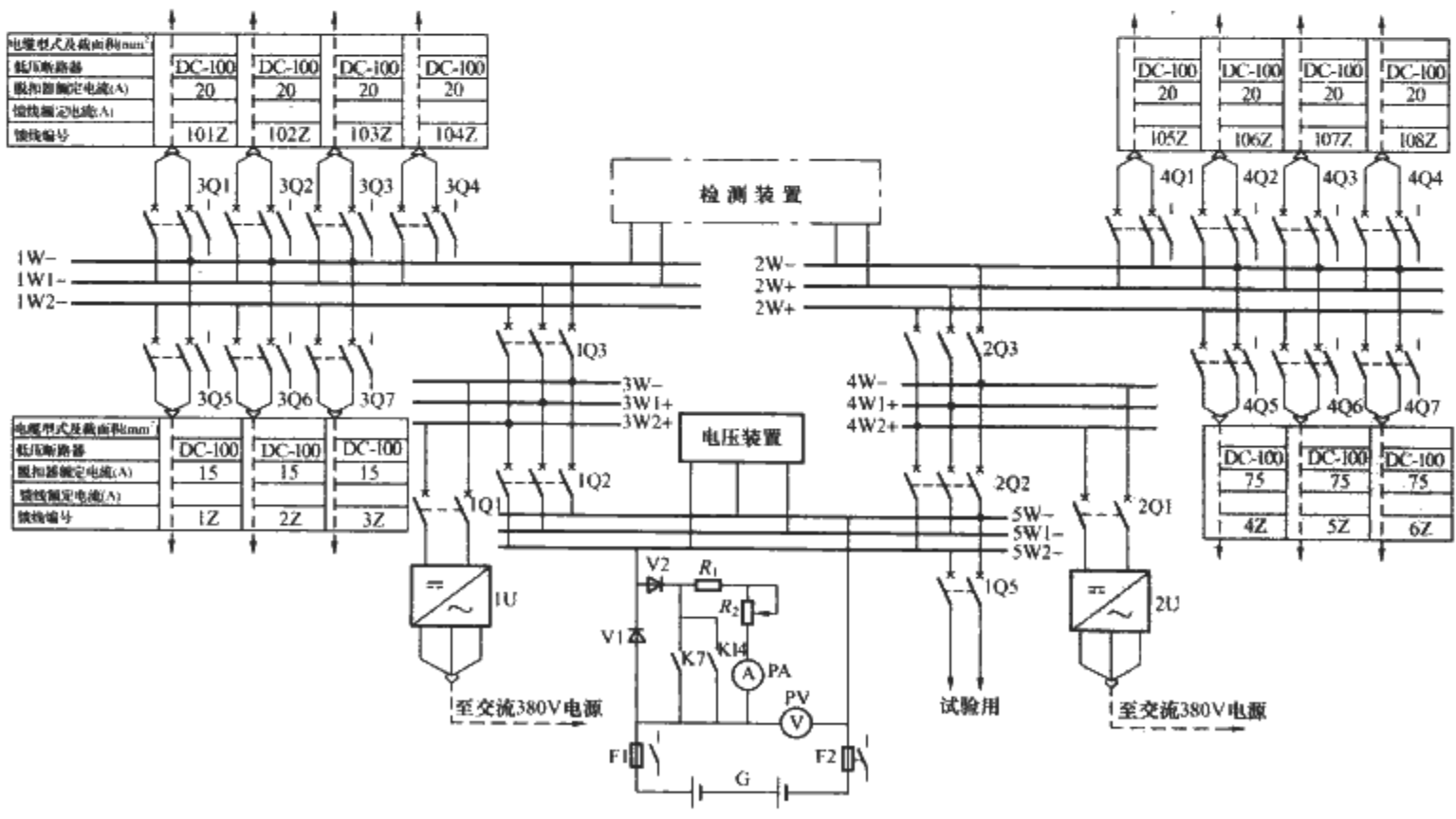


图 4.9-9 GZD32 系列铅酸直流电源柜电路图

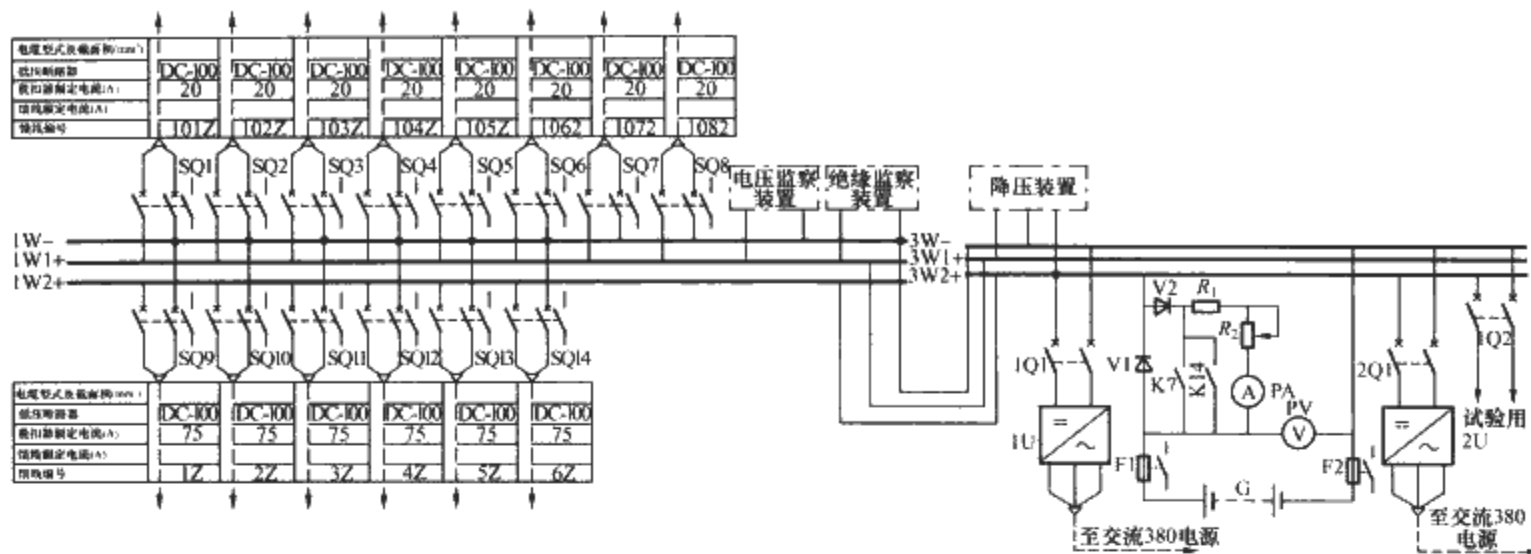


图 4.9-10 GZD33 系列铅酸直流电源柜电路图

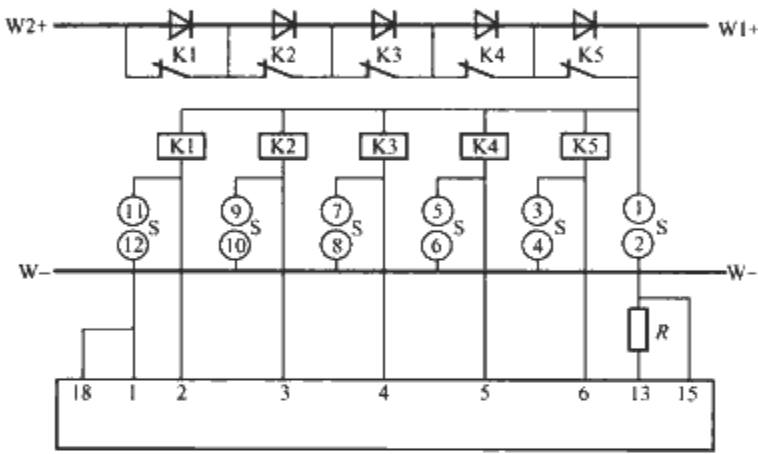


图 4.9-11 降压装置展开图 (一)

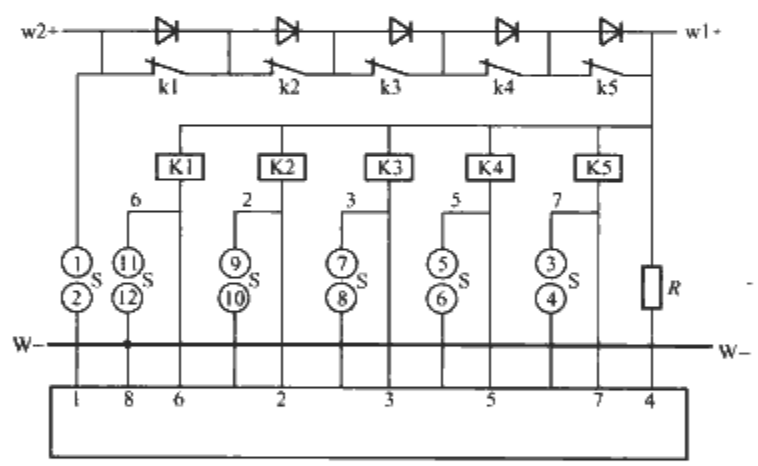


图 4.9-12 降压装置展开图 (二)

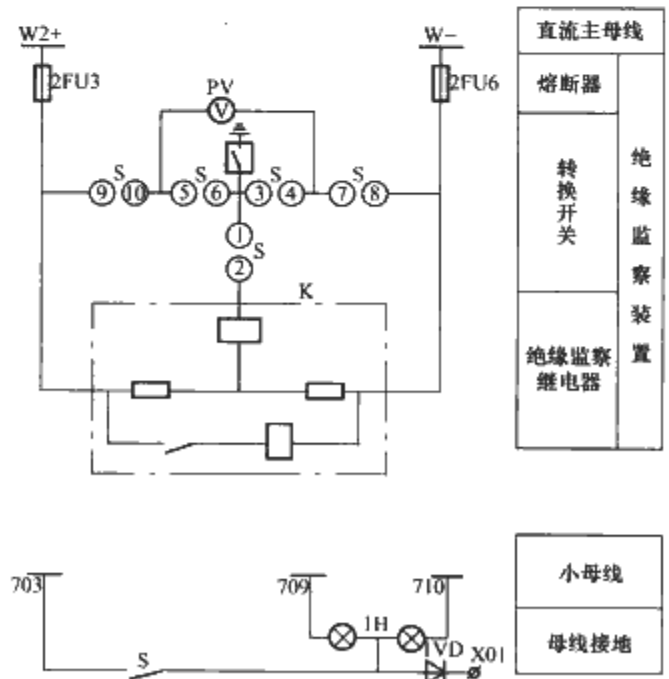


图 4.9-13 绝缘监察装置展开图 (一)

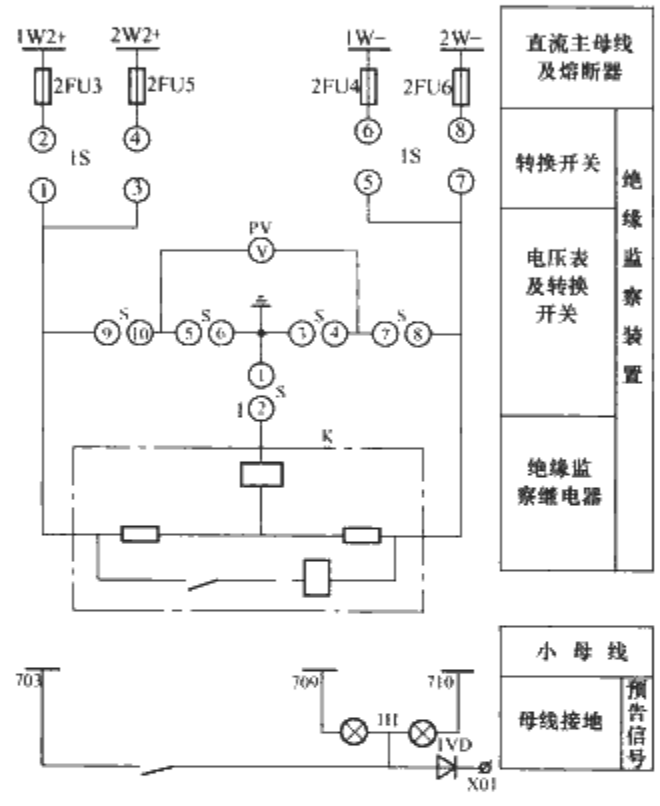


图 4.9-14 绝缘监察装置展开图 (二)

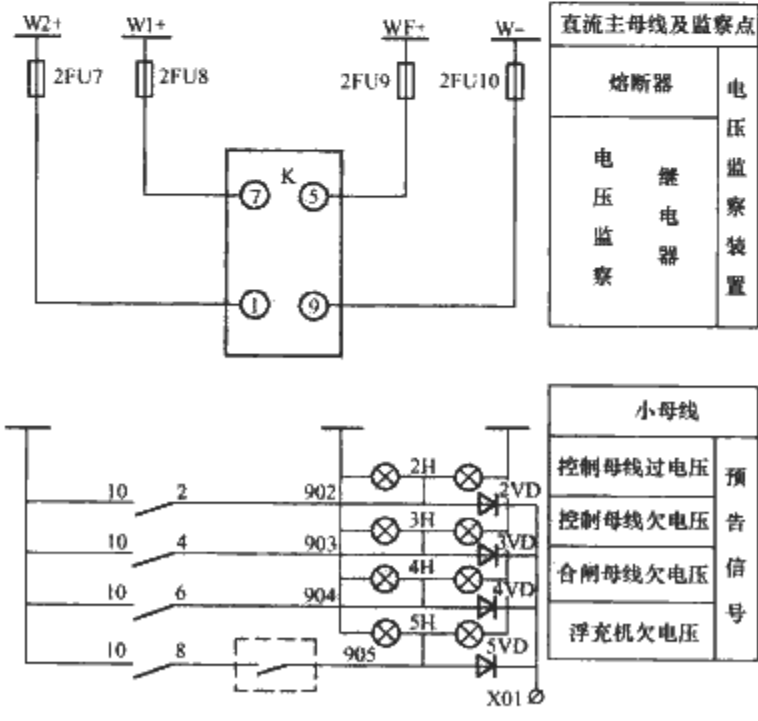


图 4.9-15 电压监察装置展开图 (一)



条件。

## 2.4 UPS 电源的分类

UPS 电源按其工作方式可分为后备式、在线互动式、传统双变换在线式和 Delta 变换在线式。

1) 后备式 UPS 电源是指在电网正常供电时, 由电网直接向负荷供电, 当电网供电中断时, 蓄电池对 UPS 电源的逆变器供电, 并由逆变器向负荷提供交流电源, 即逆变器总是处于后备供电状态。其特点是成本低、效率高, 但输出电压和频率不稳定, 转换中断。不适合高速通信及计算机应用。其电路结构框图, 如图 4.9-17 所示。

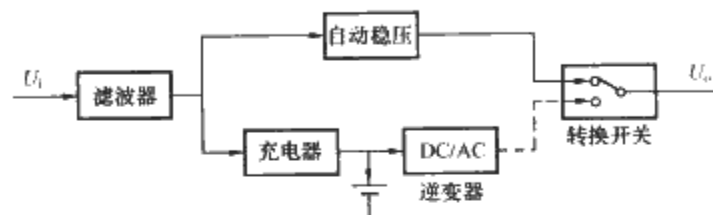


图 4.9-17 后备 UPS 电路结构框图

2) 在线互动式 UPS 电源是指在电网正常供电, 而其电压和频率在允许范围内, 通过自动旁路开关由电网直接向负荷供电, 当电网电压和频率不稳定, 超过允许范围时, 则市电通过整流逆变器向负荷供电。当电网电压、频率稳定在设定范围内, UPS 电源又经自动旁路开关由电网直接向负荷供电。其特点是成本低, 正常情况下效率高, 输出电压稳定。但输出频率不稳定, 存在转换时间 (4ms)。不适合发电机组供电和市电不稳定环境, 不适合高速通信及计算机应用。其电路结构框图, 如图 4.9-18 所示。

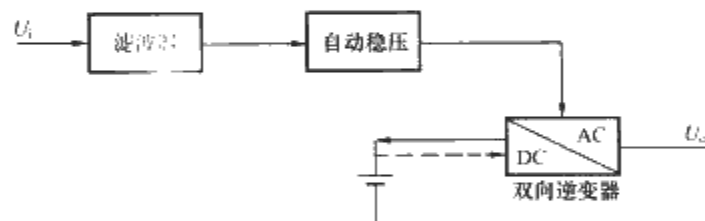


图 4.9-18 在线互动式 UPS 电路结构框图

3) 在线式 UPS 电源平时是由电网通过其整流电路向逆变电路提供直流电源, 并由逆变电路向负荷提供交流电源。当电网供电中断时, 改由蓄电池经逆变电路向负荷提供交流电源。其特点是高质量电源输出; 频率、电压稳定; 零中断转换。但成本高、效率相对降低。适用于频率和电压不稳定的环境和高速通信及计算机应用。其电路结构框图, 如图 4.9-19 所示。

它是在线式 UPS 电源的最初形式, 故称之为传统双变换在线式。

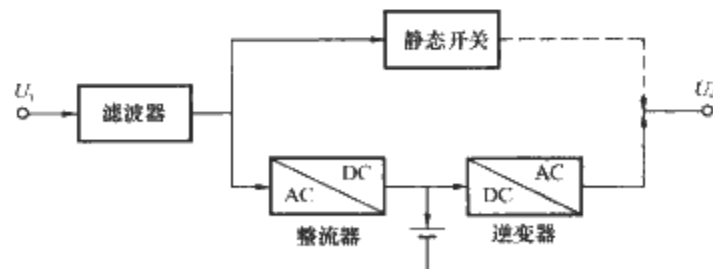


图 4.9-19 传统双变换在线式 UPS 电路结构框图

## 2.5 不同结构形式 UPS 电源的主要性能比较

### 2.5.1 不同类型 UPS 电源的输出能力和可靠性

UPS 电源的输出能力的大小, 实际上代表着 UPS 电源

可靠性的高低。表 4.9-23 反映了不同类型 UPS 电源的输出能力和可靠性指标的区别。表中各项指标指市电正常时的情况, 在电池逆变时各种类型的 UPS 电源没有本质上的差别。

表 4.9-23 不同电路结构类型 UPS 输出能力和可靠性的比较

可靠性及输出能力指标	负荷要求及相应标准	后备式	在线互动式	中小功率传统双变换式
整机效率	越高越好	98%	98%	80%~85%
负荷电流峰值系数	越大越好	不限制	不限制	3:1
负荷电流浪涌系数	越大越好	不限制	不限制	转旁路启动
允许的负荷功率因数	越宽越好	不限制	不限制	-0.7
逆变器长延时工作能力	任意	受热容量限制	不限制	不限制
过负荷能力	150%1min	强	强	150%1min

### 2.5.2 不同类型 UPS 电源的输出电性能指标

对 UPS 电源输出电性能指标的要求完全由负荷决定, 但不同类型 UPS 电源能达到的电性能指标却表现出明显的差别, 决定了不同类型 UPS 电源的适用范围和品质的优劣。见表 4.9-24。

表 4.9-24 不同类型 UPS 输出电性能指标的比较

输出性能指标	负荷要求及相应标准	后备式	在线互动式	传统双变换式
电压波形	正弦波, 准正弦波	方波, 准正弦波, 正弦波	正弦波	正弦波
电压稳定精度	$\pm 5\% \sim \pm 10\%$	$\pm 5\% \sim \pm 10\%$	$\pm 5\% \sim \pm 10\%$	$\pm 1\%$
电压波形失真度	$< \pm 5\%$	与电网和负荷有关	与电网和负荷有关	$< 3\%$ 线性负荷 $< 5\%$ 非线性负荷
瞬态电压动态范围	$\pm 5\%$	$< \pm 5\%$	$< \pm 5\%$	$< \pm 5\%$
瞬态响应时间 (ms)	20~60	10~20	10~20	20
市电—电池切换时间 (ms)	$< 10$	$\leq 10$	$\leq 4$	0
逆变旁路切换时间 (ms)				$< 2$
并机负荷不均衡度	$< 5\%$			2%~5%
双向抗干扰能力		差	差	强, 但 UPS 本身对电网产生干扰

## 2.6 UPS 电源接线方案

根据供电的可靠性、连续性、稳定性和电源容量及其他



参数质量要求, UPS 电源系统可分为单一式 UPS 电源系统; 并联式 UPS 电源系统; 冗余式 UPS 电源系统。

### 2.6.1 单一式 UPS 电源接线系统

单一式 UPS 电源系统只有一台 UPS 电源, 由整流器、逆变器、蓄电池和旁路开关组成, 一般适用于中小容量的 UPS 电源。

### 2.6.2 并联式 UPS 电源接线系统

并联式 UPS 电源系统具有一台 UPS 电源和另一台 UPS 电源并联运行。要求两台 UPS 电源与市电旁路电源保持同步运行。正常时两台 UPS 电源同时向负荷供电, 各供一半负荷, 当一台 UPS 电源故障时, 经交流静态开关自动切除故障 UPS 电源而不影响系统供电。此时另一台 UPS 电源承担全部用电负荷。在需要时用电负荷也可经交流静态开关自动切换到市电旁路电源供电。

## 2.7 UPS 电源选用

### 2.7.1 UPS 电源选用规范及标准

1) 《信息技术设备用不间断电源通用技术条件》(GB/T 14715—1993)。

2) 《不间断电源设备》(GB/T 7260—2003)。

3) 《低压直流电源设备的特性》(GB/T 17478—2004)。

### 2.7.2 UPS 电源工作的环境条件

1) 海拔为 1000m 以下 (有些产品可工作在海拔 2000m 或 3000m 以下)。

2) 室内环境温度  $0\sim+40^{\circ}\text{C}$  (蓄电池室的环境温度  $20\sim25^{\circ}\text{C}$ )。

3) 室内相对湿度不大于 90% (不允许结露)。

4) 无剧烈振动、冲击, 垂直倾斜度不超过  $5^{\circ}$  的场所。

5) 无易燃导电尘埃, 无腐蚀性气体和爆炸危险的场所。

### 2.7.3 UPS 电源产品

(1) 韦德 G、GR 系列在线式 UPS

1) 特点。

①正弦波输出: 无论在市电模式或电池模式, 均可输出低失真度的正弦波电源, 为用户的负荷设备提供最佳的电源保障。

②零转换时间: 当市电停电或复电时, UPS 在市电模式与电池模式之间的切换是完全没有转换时间的, 有效保证了负荷运行的可靠性。

③输入零火线检测功能: 韦德 G、GR 系列 UPS 具备中性线、相线反接检测功能。避免 UPS 市电输入零火线反接。

④TVSS 功能: 即瞬态电压抑制功能。在 G、GR 系列 UPS 上被用于传真、电话、调制解调器、网络等转换保护功能。

⑤输入功率因数修正: G、GR 系列 UPS 具备输入功率因数修正功能, 在满负荷情况下, 输入功率因数可以达到 0.95 以上, 使用户的电网环境不会受到污染。

⑥直流启动: 在市电停电状态下, 若需要使用 G、GR 系列 UPS 启动计算机或其他负荷设备, G、GR 系列 UPS 可以直接以电池进行直流开机, 使 G、GR 系列 UPS 的使用更加方便、可靠。

⑦G6K (S) 采用高可靠性的并联扩容技术, 使得规划电源更有弹性: N+1 并联冗余的规划, 提供最可靠的电源解决方案: N+1 并联冗余意味着随时都有多一台的 UPS 为重要设备提供保障。规划电源系统时, 比额定容量增加一台, 这样, 当系统中任何一台 UPS 发生故障时, 都能因为这额外增加的一台 UPS, 使得电源系统能够不间断的为重要设备提供高品质的电力, 使得系统更加可靠。同时先进的

均流技术使得并联运行下的每一台 UPS 平均分担着负荷电流, 在提高系统可靠性的同时, 也延长了 UPS 的使用寿命。

⑧长效机强大充电能力: G、GR 系列 UPS 长效机除了放电时间延长、电池回充能力也很强, 可以提供 4~9A 的初始充电电流。

2) 主要技术性能。

①韦德 G 系列在线式 UPS, 见表 4.9-25。

表 4.9-25 韦德 G 系列在线式 UPS

技术参数	设备型号	G1K/G1KS G2K/G2KS G3K/G3KS	G6K/G6KS G10K/G10KS
	输出容量 (kVA)	1, 2, 3	6, 10
输出参数	额定输出电压 (V)	AC 220	
	输出电压稳压精度	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$
	输出电压波形失真度	$<3\%$ (线性负荷), $<5\%$ (非线性负荷)	
	输出频率	与输入市电同步, 并且同步范围可调 (市电模式)	
	负荷功率因数	0.7	
	过负荷能力	110%~150%30s 后转旁路输出	105%~130%10min, 130%以上 1min
	市电/电池切换时间	零中断	
输入参数	额定输入电压 (V)	AC 220	
	输入电压可变范围 (V)	AC118~300	AC176~276
	输入频率 (Hz)	40~60 (可调)	46.5~54
	满负荷时输入功率因数	$>0.97$	
蓄电池	电池标称电压 (V)	1kVA DC 36 2kVA/3kVA DC 96	DC 240
外形尺寸 (mm×mm×mm)	1kVA: 145×405×220; 2~3kVA: 195×455×330 6~10kVA: 260×570×717		
通信界面	RS232+intelligent Slot/SNMP 市电异常、 断电、电池容量、遥控 UPS 开关、 UPS 状态指示等智能监控功能		
物理特性	运行环境要求	温度 $0^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 湿度 20%~90%	
	噪声	$<45\text{dB}$	$<55\text{dB}$

②GR 系列机架式 UPS, 表 4.9-26。

表 4.9-26 GR 系列机架式 UPS

技术参数	设备型号	GR 系列机架式 UPS	
		G1KR/G1KRS, G2KR/G2KRS, G3KR/G3KRS	G6KR/G6KRS
输出参数	输出容量 (kVA)	1, 2, 3	
	额定输出电压 (V)	AC 220	
	输出电压稳压精度	$\pm 2\%$	
	输出电压波形失真度	$<3\%$ (线性负荷), $<5\%$ (非线性负荷)	
	输出频率 (电池供电时, Hz)	与输入市电同步, 并且同步范围可调 (市电模式); 50Hz $\pm(1\pm 0.1\%)$ (电池模式)	
	满负荷整机效率 (典型值)	接近 90% 的满负荷运转效率	
	负荷功率因数	0.7	
	输出电流峰值系数	3:1	
	过负荷能力	110%~150%30s 后转旁路输出	
	市电/电池切换时间 (ms)	零中断	

续表

设备型号	GR 系列机架式 UPS	
	G1KR/G1KRS, G2KR/G2KRS, G3KR/G3KRS	G6KR/G6KRS
技术参数		
额定输入电压(V)	220	
输入电压可变范围(V)	AC 118~300	AC 176~276
输入频率(Hz)	40~60(可调)	46.5~54(可调)
满负荷时输入功率因数	>0.97	
通信界面	RS232+intelligent Slot/SNMP 市电异常、断电、电池容量、遥控 UPS 开关、UPS 状态指示等智能监控功能	

## (2) 创统 TW 系列 UPS 电源

1) 产品特点。TW 系列体积小, 质量轻, 外形美观大方, 操作简单, 维护便利, 噪声低。具有 DB90 通信接口,

可通过网络对电源监控管理, 并可实现双台 UPS 并联使用。具有 AVR 功能, 允许市电电压范围宽。运行参数由液晶屏显示。

2) 产品规格及主要技术参数见表 4.9-27。

表 4.9-27 产品规格及主要技术参数

型号	容量(kW)	输入输出 电压(V)	电池容量 (Ah)	备用时间 (h)	外形尺寸 (mm)
TW3.75K	3	220	7~15	1/6	820×600 ×390
TW3.75K-II	3		24	1	
TW6.25K	5		7~15	1/6	
TW6.25K-II	5		24	1	
TW10K	8		12~15	1/6	
TW10K-II	8		38	1	

## (3) 梅兰日兰北极星系列 UPS 电源

1) 主要技术性能参数见表 4.9-28。

2) 执行标准

IEC 60950; IEC 61000-4; IEC 61000-3-2。

表 4.9-28

主要技术性能参数

型号规格		1.5kVA	2kVA	2.5kVA	3kVA	4.5kVA	6kVA
电气参数	功率	1.5kVA/1kW	2kVA/1.33kW	2.5kVA/1.67kW	3kVA/2kW	4.5kVA/3kW	6kVA/4kW
	效率 (%)	87	89	89	90	92	93
	峰值因数	4.1	3.1	3.8	3.1	4.2	3.1
	短路电流 (A)	27		41		82	
电 池	标机 (min)	11	9	11	9	12	9
	100%额定输出						
	50%额定输出	25	20	25	20	30	23
	EXB 电池扩展 模块 LA	25	20	25	20	30	23
	XLA	50	36	50	36	54	40
	2XLA	80	66	80	66		
尺寸与质量	UPS 与标准 电池尺寸 (mm)	443×173×465 (直立式) 177 (4U) ×483×462 (机架式)				443×346×465 (直立式) 354×483×462 (机架式)	
	UPS 质量 (kg) (不含电池/含电池)	13/28 (直立式) 16/31 (机架式)		13/33 (直立式) 16/36 (机架式)		14/62 (直立式) 18/69 (机架式)	
	UPS 主机模块尺寸 (mm)	443×173×465 (直立式) 177 (4U) ×483×462 (机架式)				443×173×465 (直立式) 117×483×462 (机架式)	
	EXB 模块尺寸 (mm) LA	443×173×465 (直立式) 177 (4U) ×483×462 (机架式)					
	EXB 模块质量 (kg) LA XLA	22 (直立式) 25 (机架式) 36 (直立式) 39 (机架式)		28 (直立式) 31 (机架式) 48 (直立式) 51 (机架式)		48 (直立式) 51 (机架式)	
	CLA 模块尺寸 (mm)					443×173×465 (直立式) 177 (4U) ×483×462 (机架式)	
	CLA 模块质量 (kg)	11 (直立式) 14 (机架式)		11 (直立式) 14 (机架式)		14 (直立式) 17 (机架式)	

- 注 1. Extreme1.5~3kVA 单模块, 包含主机单元及内置标准电池。  
 2. Extreme4.5~6kVA 双模块, 有一个主机模块及一个 EXBLA 外加电池模块提供标准后备时间。  
 3. 输入电压范围: 50%负荷 84~265V, 66%负荷 120~265V, 100%负荷 150~265V。  
 4. 频率范围: 50Hz/60Hz。  
 5. 输入功率因数: 0.99。  
 6. 输出电压—纯正弦波: 200/208/220/230/240V。  
 7. 谐波失真度: 线性负荷小于 3%, 非线性负荷小于 5%。  
 8. 过负荷能力: 130%—60s, 160%—10s, 250%—1s。  
 9. 电池自动放电测试: 可按用户设定的周期自动进行, 不会中断负荷运行。  
 10. 通信: 1 个 RS232U-Talk 接口+1 个通信扩展插槽。  
 11. UPS 选件及 Multislot 扩展通信模块: SNMP10BT 板; 2 个 RS232U-TalkBasic 通信板(干接点); 6 个继电器接口卡(250V2A); USB 接口卡; 2 个 RS232COM 通信板(III) 协议; 2 个 AS400 远程关机通信板(干触点)。  
 12. 噪声: 45dB。  
 13. 运行温度: 0~35℃ (1.5~3kVA); 0~40℃ (4.5~12kVA)。

# 第10章 箱式变电站

箱式变电站，在国家标准（GB/T 17467—1998）中的正式名称是“高压/低压预装式变电站”，在国家电力行业标准（DL/T 537—2002）中称为“高压/低压预装箱式变电站”（简称“箱式变电站”）。

箱式变电站被定义为：经过型式试验的用来从高压系统向低压系统输送电能和设备。它包括装在外壳内的变压器、高压和低压开关设备、电能计量设备和无功补偿设备、连接线和辅助设备。该类型的变电站安装在公众易于接近的地点，应依照规定的使用条件来保证人身的安全和用电安全。为此，箱式变电站除了规定了特性、额定值和相关的试验程序外，还特别注意到对人身保护的规定。这种保护由采用通过型式试验的元件以及合理的设计和外壳的结构来保证。

## 1 箱式变电站的组成与使用条件

### 1.1 组成与功能

箱式变电站是由高压开关设备、电力变压器、低压开关设备、电能计量设备、无功补偿设备、辅助设备和联结件等元件组成的成套配电设备，这些元件在工厂内被预先组装在一个或几个箱壳内，用来从高压系统向低压系统输送电能。

### 1.2 适用场所与使用条件

#### 1.2.1 适用场所

箱式变电站的电压等级为高压6~35kV，低压220/380V。三相交流，50Hz。额定容量为30~1600kVA。箱式变电站中的变压器分干式和油浸两种。大多箱式变电站安装在室外，也可以安装在室内。箱式变电站是可用于高压环网供电，也可以用于高压终端供电的变电站，便于深入负荷中心，提高供电质量。箱式变电站具有成套性强、体积小占地少、安装方便、投资省、建设周期短等优点。最近十几年箱变在我国发展迅猛，被广泛应用在城市电网改造、住宅小区、工矿企业、宾馆、医院、机场、公园、公路及铁路等户外场所。

#### 1.2.2 使用条件

- 1) 海拔不超过1000m。
- 2) 环境温度：最高温度40℃，最高日平均气温不超过35℃。最低气温-25℃。
- 3) 相对湿度：25℃时，日平均值不超过95%，月平均值不超过90%。
- 4) 户外风速不超过35m/s。
- 5) 地面倾斜度不大于3°。
- 6) 阳光辐射不得超过1000W/m<sup>2</sup>。
- 7) 安装地点无爆炸危险、火灾、化学腐蚀及剧烈振动。当与上述正常使用条件不同时，由用户与制造厂协商解决。
- 8) 地震烈度8度。

### 1.3 设计与选型引用的主要标准

工程设计和选用产品应遵循的主要标准见表4.10-1。

表 4.10-1 设计和选用箱变应遵循的主要标准

编 号	名 称
DL/T 537—2002	高压/低压预装箱式变电站选用导则
GB/T 17467—1998	高压/低压预装式变电站
JB/T 10217—2000	组合式变压器
IEC 1330—1995	高低压预装式变电站
GB 50052—1995	供配电系统设计规范
GB 50053—1994	10kV 及以下变电所设计规范
GB/T 15164—1994	油浸式电力变压器负荷导则
GB/T 17211—1998	干式电力变压器负荷导则
04D201—3	室外变压器安装

## 2 箱式变电站的类型与特性

### 2.1 箱式变电站的分类

从20世纪80年代中期起，我国陆续从法国和德国等欧洲国家进口了部分预装箱式变电站（英文为 Pre-fabricated Compact Substation，俗称“欧式箱变”），1995年又从美国引入组合式变压器（英文为 Pad-mounted Transformer，即“台置式变压器”俗称“美式箱变”）。在产品进口和技术引进之后，经各地推广应用，总结改进，自行研发，并陆续生产出各种符合我国供用电法规要求的箱式变电站。目前，我国有一批骨干企业生产的箱式变电站，无论在技术性能还是在产品质量方面，均已达到或接近国际先进水平。人们俗称的“欧式箱变”和“美式箱变”，在我国经过十几年的改进和国产化之后，已经完全适合我国的国情，我国生产的箱式变电站，既具有进口产品的先进技术性能，又符合我国有关规范和法规的规定。现在，箱式变电站已经成为我国变配电设备的主流产品之一，发展迅猛，应用广泛。

箱式变电站按结构型式分为“组合箱式变电站”和“预装箱式变电站”两大类。国产的“组合箱式变电站”与“美式箱变”在结构型式上比较接近，国产的“预装箱式变电站”与“欧式箱变”在结构型式上比较接近，但彼此都有不同之处。

### 2.2 组合箱式变电站

组合箱式变电站以下简称“组合式箱变”就是我国机械行业标准 JB/T10217 规定的“组合式变压器”。该标准定义组合式变压器是将变压器器身、开关设备、熔断器、分接开关及相应辅助设备组合的变压器。组合箱式变电站是我国吸收“美式箱变”技术，并进行多项重大技术改进后自行开发的系列产品。

#### 2.2.1 主要技术特性

- 1) 组合式箱变将变压器器身、高压负荷开关、高压熔

断器等电器元件安装在密封的变压器油箱体内,利用变压器油(矿物油、难燃油)作为整个产品的绝缘介质和散热介质。既具有变压器外壳在大气中直接散热,充分发挥油浸自冷式变压器的优点,又有结构紧凑、体积比预装箱式变电站小得多、安装方便的优点。

2) 组合式箱变的箱体是由密封的油箱与封闭的高、低压室所组成的组合体。其高、低压室是借助于油箱壁,采用钢板将高、低压电缆接线和电器元件的操作、控制部分封闭起来的空。高压室与低压室之间采用金属隔板隔开。

组合式箱变的结构分为前、后两个部分,前部为高压室、低压室,后部为油箱,呈“品”字形。高压室设有高压端子、负荷开关、无载分接开关、插入式熔断器、压力释放阀、油温计、油位计、放油阀及接地排。低压室设有低压端子、低压主开关及少量支路开关。油箱中有变压器、高压负荷开关、保护用熔断器、无载分接开关的转换触点。

3) 由于组合式箱变的高、低压室内不放置成套高、低压开关柜和无功补偿柜,箱体不存在“铁柜子套铁柜子”的现象,因此具有结构紧凑,体积小占地少的明显优点。但由于低压室较小,只能安装4~6路出线开关,这也是组合式箱变的不足之处。现在有的生产厂对其低压室进行适当扩大,以满足客户对增多出线开关、加装无功补偿和电能计量装置的要求。使组合式箱变的结构型式除有“品”字形外,也有“目”字形,有逐渐向预装式箱变演变的趋势。

4) 箱体为密封结构,充分考虑了防水、耐磨、防紫外线照射、安全性和操作方便的要求。高、低压室防护门之间设有机械连锁,只有当低压室的门打开之后,才能打开高压室的门。

5) 高压端子配有套管,用于连接具有负荷开断能力的肘型电缆插头,套管与肘型电缆插头相接,将带电部分密封在绝缘体内,形成全绝缘结构,端子表面不带电(地电位),能可靠保证人身安全。肘型电缆插头可以在变压器满负荷情况下带电插拔,因此,肘型插头也可以作为负荷开关使用。

6) 组合式箱变由后备保护熔断器和插入式熔断器串联提供保护。后备保护熔断器是限流熔断器,安装在箱体内部,只在箱体内部发生故障时才熔断,保护高压线路。插入式熔断器是油浸式熔断器,在变压器低压侧发生短路故障、过负荷及油温过高时熔断,主要用来保护组合式变压器。插入式熔断器熔断后,可以在现场很方便地更换熔丝。

7) 油浸式负荷开关是三相联动开关,带有弹簧操作机械,可以完成负荷开断和关合操作。负荷开关分两位置 and 四位置两种,分别用于单路、双路和环网高压配电系统。

8) 可根据工程需要在箱变上安装肘型全绝缘金属氧化锌避雷器,可以插拔,安装方便。

9) 组合式箱变只能采用油浸变压器,不能采用干式变压器,这是与预装式箱变的显著区别。组合式箱变一般采用S9-M型油浸式变压器,其绕组和铁心与高压负荷开关、高压熔断器等器件共箱油浸或分箱油浸。

10) 组合式箱变按油箱结构一般可分为共箱式和分箱式:

① 共箱式一般为高压电器元件与变压器器身共用一个变压器油箱。

② 分箱式一般把负荷开关等高压电器元件单位独置于一个油箱,而其他高压电器元件与变压器器身置于另一个油箱,两个油箱间油路不通。通常这两个油箱上下放置,前者为上油箱,后者为下油箱。

### 2.2.2 对“美式箱变”的改进

组合式箱变(组合式变压器)是在吸收“美式箱变”技术的基础上,结合我国国情进行多项重大改进之后,自行开发出来的成套变电站设备。现对“美式箱变”改进的必要性和改进的主要内容简述如下:

1) “美式箱变”本身并不具备“变电站”的全部功能。它的低压出线仅在低压室留有4个接线端子,不带低压开关回路,在美国实际应用时通常要在户内另配一个低压柜。在我国是由国内生产厂在箱变的低压室加装出线开关,由于箱体空间有限,只能安装大约4个出线开关,这很难满足用户对出线回路数量的要求。因此,“美式箱变”必须调整箱体空间,增设低压开关数量,以满足用户的工程需求。

2) “美式箱变”不具备低压无功补偿功能和高压计量功能。根据我国供用电规则和电力行业的规定,必须按实际工程需求加装无功补偿装置和高压或低压计量装置,才能投入电网运行。加装时通常不是在箱变的外边另配一个无功补偿柜和计量柜,而是加装在箱变的高、低压室,这就要求相应扩大高、低压室的空间,改进高、低压室的设备布置。

3) 美国的10kV电网为中性点接地系统,变压器采用YNyn联结,铁心为三相五柱式;而我国的10kV电网一般为中性点不接地系统(目前北京市四环路以内的10kV级配电网已由消弧线圈接地改为10Ω电阻接地),变压器采用Dyn11、Yyn0联结。因此,“美式箱变”必须进行改进,才能适用于我国10kV中性点不接地电网系统。

4) “美式箱变”主要是GE和Cooper(固珀)产品,执行的是美国ANSI标准,与中国的GB标准和国际IEC标准存在一定的差异。例如:

① ANSI标准中的10/0.4kV变压器标准容量(kVA)为75, 112.5, 150, 225, 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500。这与GB标准有差异,国内用户必须重新核算连接进口“美式箱变”的上级高压开关和下级低压开关的额定值和整定值。

② 在变压器的阻抗电压(U<sub>k</sub>)值方面,ANSI标准与GB标准也有较大差异,这使进口“美式箱变”只能单独用于终端变电站,不能与国产变压器并列运行。

③ 按ANSI标准生产的“美式箱变”,10kV高压侧工频耐压值为34kV,达不到GB标准规定的不小于35kV的要求。

5) 进口“美式箱变”的噪声水平为54~60dB,比国产油浸变压器高。我国规定组合式变压器的噪声级不得大于55dB,“美式箱变”必须优化其结构才能满足我国的环境要求。

因此,进口的“美式箱变”不经过改进,在我国是不适用的,目前改进后的“美式箱变”结构已趋向欧式化。实践证明,国产组合式箱变是完全适合我国国情的箱式变电站。

### 2.2.3 产品技术资料

#### (1) 产品型号。

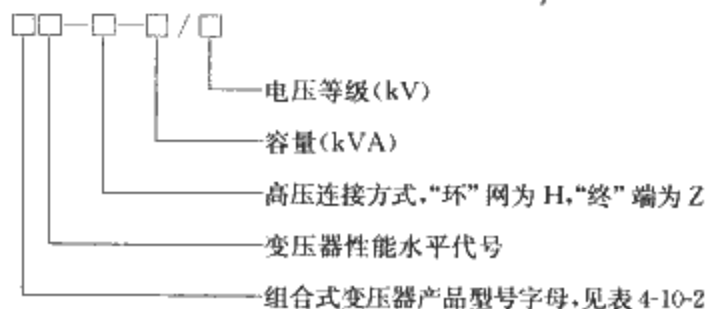


表 4.10-2 组合式变压器产品型号字母排列顺序及含义

序号	分 类	含 义		代表的字母
1	型式	“组”合式 变压器	“共”箱式	ZG
			“分”箱式	ZF
2	相数	“单”相		D
		“三”相		S
3	绝缘油	一般变压器油		—
		难“燃”油		R
4	线圈导线材质	铜线		—
		铜“箔”		B
		“铝”箔		LB
5	铁心材质	电工钢片		—
		非晶“合”金		H
6	高压接线方案	环网		H
		“终”端		Z

举例：共箱组合式变压器、三相、低压采用铜箔式绕组、铁心采用非晶合金、一般变压器油、额定容量500kVA、高压接线方案为环网型、电压等级10kV、产品性能水平代号为10，该产品的产品型号为：ZGSBH10-H-500/10。

(2) 基本技术参数。

组合箱式变电站的主要技术参数见表 4.10-3。

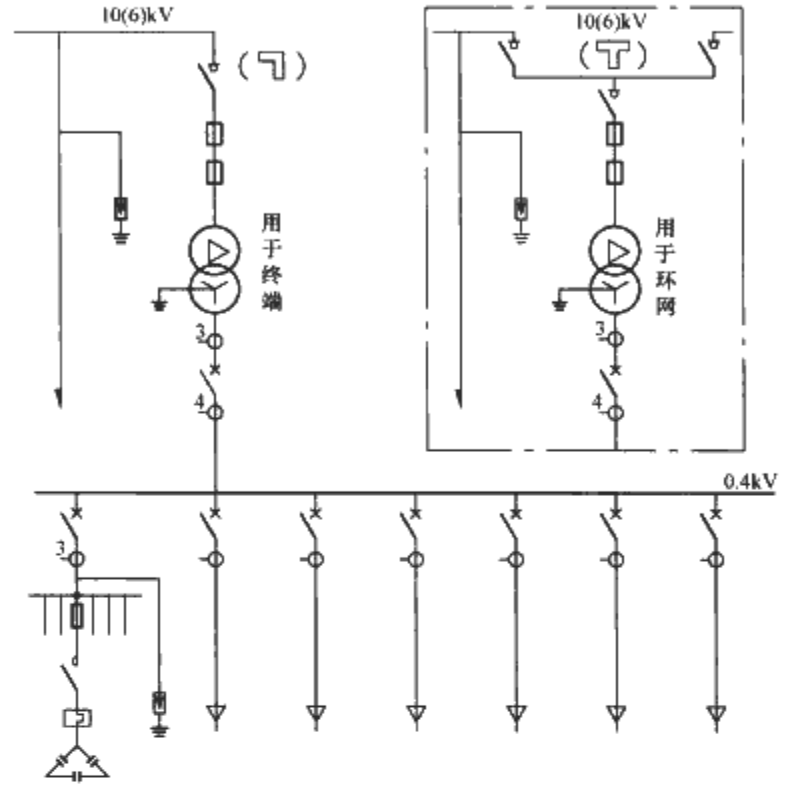
表 4.10-3 组合箱式变电站主要技术参数

序号	名 称	单位	高压侧		变压器	低压侧
1	额定电压	kV	6	10		0.4
2	最高工作电压	kV	7.2	12		
3	额定容量	kVA			30~1600	
4	额定电流 (元件)	A	6.3~630			50~3150
5	高压负荷开关短时耐受电流	kA	12.5, 16, 20, 25			15~75
6	额定短路耐受时间	s	2			1
7	高压负荷开关峰值耐受电流	kA	31.5, 40, 50, 63			30~165
8	短时工频耐压 (1min)	kV	25	35	25/35	3.5
9	雷电冲击耐压	kV	60	75	75	
10	高压熔断器额定短路开断电流	kA	50			
11	防护等级		IP33		全密封	IP33
12	噪声水平	dB			≤55	
13	额定频率	Hz			50	

(3) ZGS□- $\frac{Z}{H}$ 组合箱式变电站，共箱式有“品”字形与“目”字形布置方式。一般“品”字形布置用于低压出线回路少的场所，“目”字形布置用于低压出线回路较多的场所。他们都是将变压器铁心、高压负荷开关和熔断器等共箱布置，体积小，安装方便。其高低压概略图、外形尺寸及布

置图如图 4.10-1~图 4.10-3 所示。

(4) ZGS□- $\frac{Z}{H}$ 改进型组合箱式变电站，分箱式由上油箱（高压负荷开关等电器）、下油箱（变压器器身及其他高压电器）、操作室、低压件组成。体积小、造价低。其高低压概略图、外形尺寸及布置如图 4.10-4 和图 4.10-5 所示。



插入式熔断器熔丝规格												
规格	额定容量 (kVA)	50	100	125	160	200	250	315	400	500	800	1000
熔丝规格	10kV	C04	C06	C07	C08	C10	C10	C10	C11	C12	C14	C16
	6kV	C06	C08	C09	C10	C10	C10	C12	C12	C14	C16	C16

图 4.10-1 ZGS□- $\frac{Z}{H}$ -□/10 组合式箱变高低压概略图

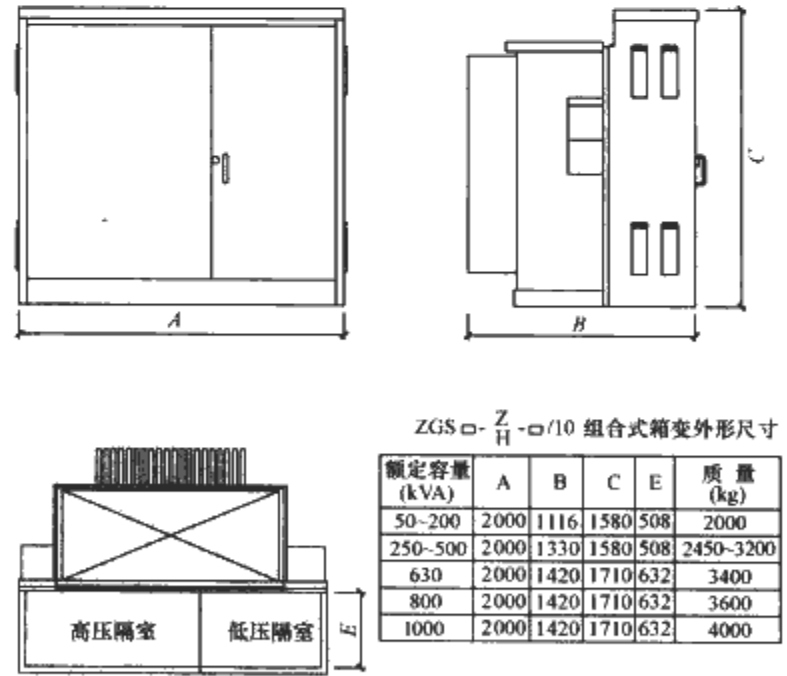


图 4.10-2 ZGS□- $\frac{Z}{H}$ -□/10 组合式箱变 (品字形) 外形及布置图

2.3 预装箱式变电站

预装箱式变电站（以下简称预装式箱变），是在“欧式箱变”的基础上根据我国供用电规则对“欧式箱变”完善后

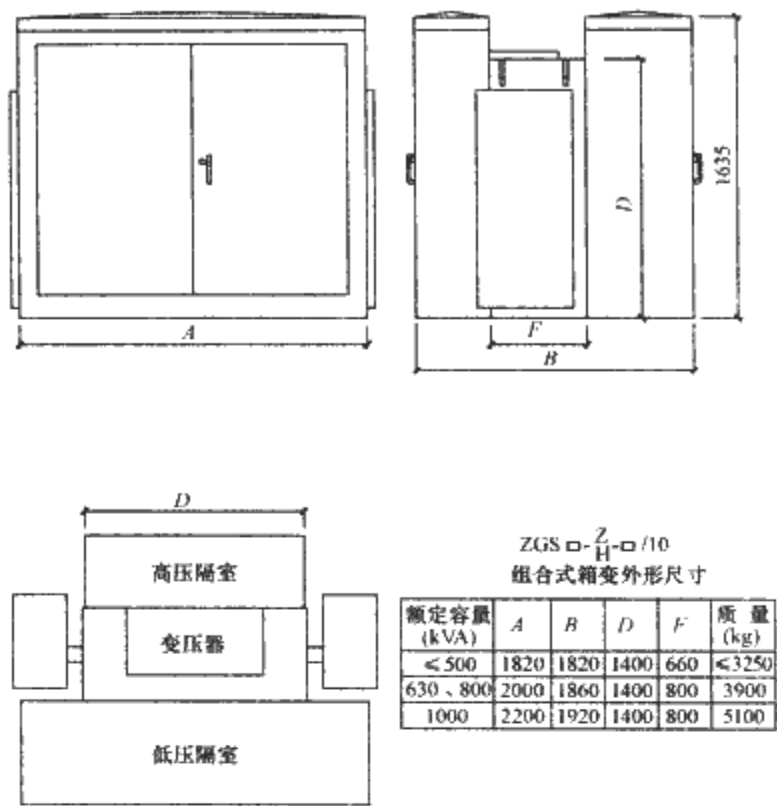
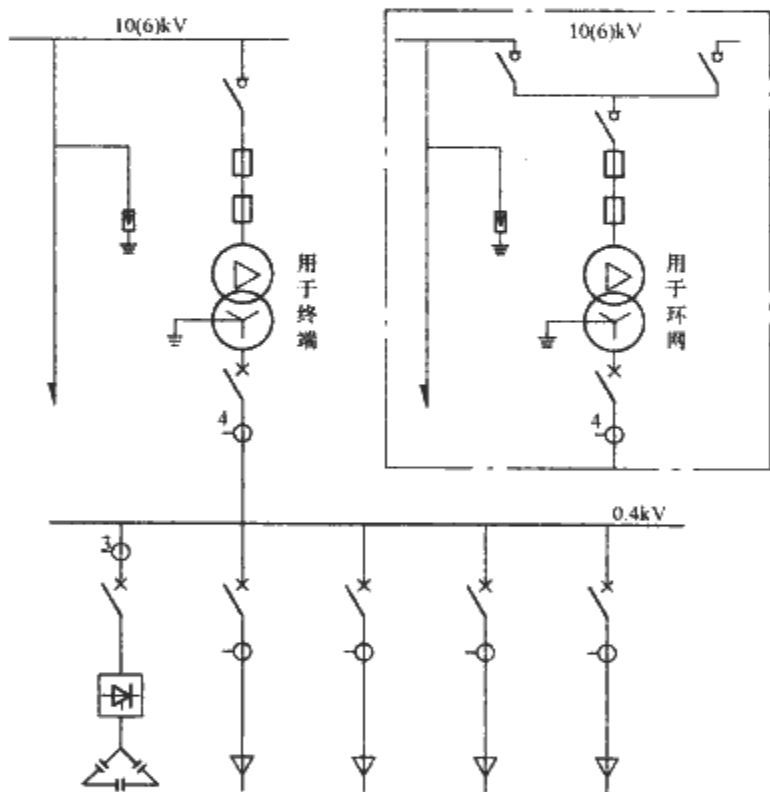


图 4.10-3 ZGS□-Z<sub>H</sub>-□/10 组合式箱变（目字形）外形及布置图



高压熔断器参数		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
名称	额定容量 (kVA)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
	插入式熔断器 (A)	10kV 10	15	25	25	25	25	40	40	65	65
后备保护熔断器 (A)	6kV	15	15	25	25	35	40	50	65	80	100
	10kV	40	50	63	80	80	80	100	125	150	175
	6kV	50	63	80	80	125	150	150	175	175	200

图 4.10-4 ZGS□-Z<sub>H</sub>-□/10 组合式箱变（改进型）高低压概略图

的产品。我国生产的预装式箱变，由于一开始就有供电部门参与，所以它符合我国国家标准 GB/T 17467—1998（等效采用 IEC 1330—1995）和电力行业标准 DL/T 537—2002 的规定，完全适合我国的国情，除具有“欧式箱变”的功能

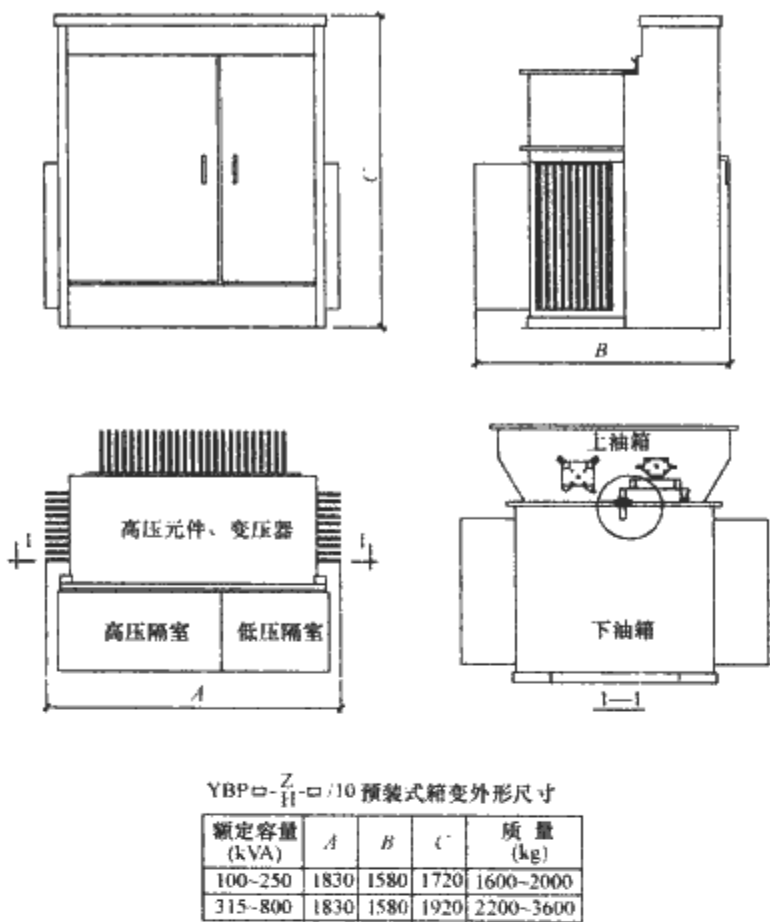


图 4.10-5 ZGS□-Z<sub>H</sub>-□/10 组合式箱变（改进型）外形及布置图

外，计量、无功补偿、通风等功能亦样样俱全。实践证明，预装式箱变是具有变电站全部功能的理想箱变。

2.3.1 主要技术特性

(1) 预装式箱变的组成

预装式箱变是由高压开关设备、变压器、低压开关设备和外壳组成，并由工厂预先装配完成的变配电成套设备。箱变的箱体分成高压室、变压器室和低压室三个功能隔室，且高压室和低压室功能齐全。预装式箱变有三相也有单相，一般用于户外，也可用于户内。

(2) 高压开关设备

1) 所有高压开关设备都集中设置在独立的高压室内，与变压器分室安装，这是与组合式箱变的明显区别。

2) 高压开关设备一般选用 GA、GE 系列 SF<sub>6</sub> 气体绝缘环网组合开关柜，RM6、RGC、8DJ20、SC6 等型环网单元柜，XGN、HXGN 型负荷环网柜等进口或国产成套开关柜。高压开关设备可根据用户一次接线方案的要求进行配置，适用于终端、环网、双电源多种供电方式。

3) 预装式箱变一般选用高压负荷开关-熔断器组合电器，由高压负荷开关开断正常负荷电流，由熔断器开断短路及过载电流。这种组合是预装式箱变操作及保护电器的首选。这类电器有国产的，也有进口的。

4) 根据设计要求可安装高压计量装置。

(3) 变压器

1) 预装式箱变的变压器单独安装在变压器室，与高压开关设备不共箱安装。而组合式箱变的绕组和铁心是与高压负荷开关、熔断器等器件共箱或分箱油浸的。这也是预装式箱变与组合式箱变的明显区别。

2) 预装式箱变一般选用 S9—M~S12—M 系列全密封油浸变压器和 SH11、SH12、SH11—M、SH12—M 系列非晶合金铁心全密封油浸变压器，或采用 SC、SG 系列干式变压器，SG 系列为 NOMEX 绝缘非包封线圈干式变压器。有



的普通预装式箱变还可选用 S9~S12 型变压器。

3) 预装式箱变可根据环境条件和过负荷运行情况, 加装通风机和温控温显装置。

(4) 低压配电装置

1) 预装式箱变的低压室一般大于组合式箱变的低压室, 能安装较多的出线开关。低压室配电装置可根据用户的要求进行设计, 并可安装低压计量和无功补偿装置。

2) 低压室内开关设备可以采用面板装或柜装形式。柜装时宜选用专为箱变设计的结构紧凑体积小的低压柜, 这种低压柜均为板前操作与维护, 以尽量减少箱变的外形尺寸。

3) 低压配电装置的元器件可以是国产的, 也可以是进口的, 根据用户的要求进行设计。

(5) 附加装置

箱变根据用户要求可配置变压器风机和温控温显装置。也可配置箱内照明系统。根据环境条件要求还可以加装凝露控制系统。用于路灯照明的箱变可加装光控时控装置。

(6) 预装式箱变的主要型式

1) 按箱体结构的型式可分为紧凑型、普通型和智能型。

①紧凑型箱变由高压(环网柜)室、变压器、低压室三个功能单元组成、成套性强、结构紧凑、占地少、节能、造价低。执行 DL/T 537—2002 标准。其产品型号有 DXB□/10、YB□/10 等。DXB□/10 是电力部安生司委托龙源电力研究所组织联合设计开发的系列产品。

②普通型箱变是将高压柜、低压柜和变压器, 套装在较大箱体内, 组合方便, 但体积大份量重。变压器罩在外壳内, 需设机械通风。按 GB/T 17467—1998 标准归口管理。其产品型号较多, 有 ZBW□/10 系列等。

③智能型箱变由高压、低压、变压器、计量单元及智能系统组成, 成套性强, 体积较小、占地少。采用基于 Profibus-DP 协议的现场总线, 来实现智能化终端的功能。其产品型号有 XBZ1 □/10、YBM (P) 14、YBM (P) 27 系列等。

2) 按安装方式可分平置型、沉箱型和地埋型三种(即箱变在地面上、部分在地面下和全部在地面下)。其中地埋型箱变是一种预制式地下箱式变电站, 对改善地面环境有利, 但通风与防水措施复杂、施工安装工程量较大, 目前很少采用。

2.3.2 对“欧式箱变”的完善

1) “欧式箱变”基本具备变电站的功能, 但缺少计量功能和无功补偿功能。根据我国供用电规则的要求, 进口“欧式箱变”都必须由国内厂商进行加补, 才能进入电网运行。我国生产的预装式箱变出厂时均具备计量和无功补偿功能。

2) “欧式箱变”遵循的是 IEC-1330 标准, 变压器在箱体内采取自然通风冷却。在正常使用条件下, 变压器在外壳

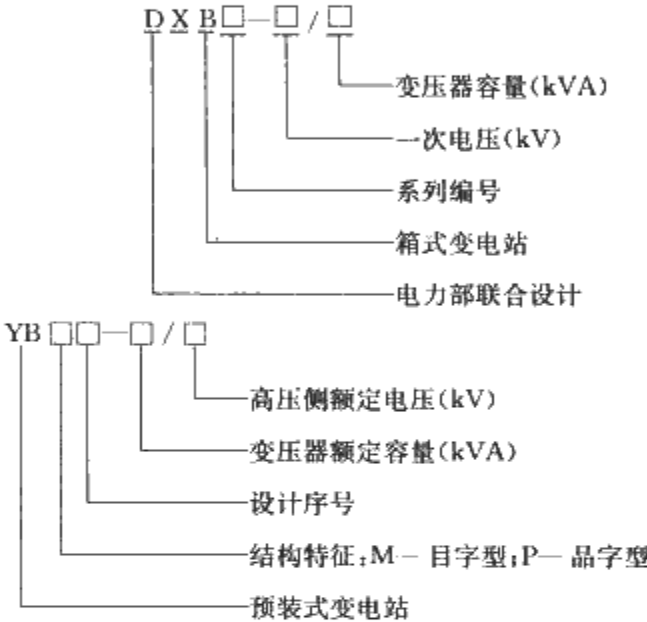
内的温升与同一台变压器在外壳外的温升之差值, IEC-1330 和 GB/T 17467 标准都明确规定了箱变外壳的级别有 10、20 和 30 三种, 分别对应于上述条件下的 10k、20k 和 30k 变压器在箱壳内、外的最大温升差值。由此可见, 若仅采取自然冷却, 箱变的负载能力必然小于内装变压器的容量。因此, 为了避免降容使用, 完善后的“欧式箱变”和国产预装式箱变, 都普遍采取在重载时进行强迫风冷的措施。

3) “欧式箱变”整台体积小, 高度一般不超过 1.6m, 不挡视线。但在国产化之后, 由于有的生产厂选用的成套柜或元器件体积偏大或根据用户要求选用的变压器体积较大, 使得整台箱变的体积较大, 为了将箱变在地面以上的高度控制在 不挡视线的范围内, 因此将箱变的底部做成船型槽半埋到地下(即“沉箱型”), 以达到良好的视野效果。

2.3.3 产品技术资料

(1) 产品型号。

预装式箱变的型号较多, 现仅列出以下两个常用的型号:



(2) 有关产品资料。

- 1) YB 系列预装式箱变技术数据见表 4.10-4。
- 2) YB 系列预装式箱变变压器容量与一、二次电流及高压熔断器、低压断路器参考选择见表 4.10-5。
- 3) YBM 系列预装式箱变外形尺寸如图 4.10-6 所示。
- 4) DXB 系列预装式箱变技术数据见表 4.10-6。
- 5) DXB 系列预装式箱变外形尺寸如图 4.10-7 所示。
- 6) ZBW 系列预装式箱变外形尺寸如图 4.10-8 和图 4.10-9 所示。
- 7) 预装式箱变高低压概略图如 4.10-10。制造厂可依照用户的需求, 提供其他高低压一次方案图。

表 4.10-4 YB 系列预装式箱变技术数据

高 压 单 元							低 压 单 元	
额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	工频耐受电压 (对地、相间/隔离断口, kV)	雷电冲击电压 (对地、相间/隔离断口, kV)	额定电流 (A)	额定短时耐受电流 (2s, kA)	额定峰值耐受电流 (kA)	额定电压 (V)	主回路额定电流 (A)
6	6.9	32/36	60/70	400 630	12.5	31.5	220/380	100~3200
10	11.5	42/48	75/85		16	40		
35	40.5	98/118	185/215		20	50		

续表

低 压 单 元				变 压 器 单 元				
额定短时 耐受电流 (kA)	额定峰值 耐受电流 (kA)	支路电流 (A)	分支回路数 (个)	补偿容量 (kvar)	额定容量 (kVA)	阻抗电压 (%)	分接范围	联结组别
15 30 50	30 63 110	10~800	1~12	0~360	50~1600	4 6	±2×2.5% 或±5%	Yyn0 或 Dyn11

表 4.10-5 YB 系列预装式箱变变压器容量与一、二次电流  
及高压熔断器、低压断路器参考选择

变压器额定容量 (kVA)	一次电流 (A)	二次电流 (A)	高压熔断器额定电流 (A)	低压主断路器额定电流 (A)
50	2.9	72	6.3	100
80	4.6	115	10	125
100	5.8	144	16	160
125	7.2	180	16	250
160	9.2	231	16	250
200	11.5	290	20	400
250	14.4	360	25	400
315	18.2	455	31.5	630
400	23.0	576	40	630
500	28.9	720	50	800
630	36.4	910	63	1250
800	46.0	1160	80	1250
1000	58.0	1440	100	1600

注 1. 低压电器设备可装设自动投切的低压无功补偿装置，其补偿容量一般为变压器容量的 15%~20%。  
2. 额定电压：高压 12kV；低压 0.4V。

表 4.10-6 DXB 系列预装式箱变技术数据

功能单元		高压电器	变压器	低压电器
额定电压 (kV)		6, 10	6/0.4, 10/0.4	0.4
额定电容 (kVA)			I 型 100~1250	
			II 型 50~400	
额定电流 (A)		200~630		100~300
额定开断电流	(A)	负荷开关 400~630		
	(kA)	组合电器取决于熔断器		
额定短时耐受电流 (kV/s)		20/2	200~400kVA	15/1
		12.5/4	>400kVA	30/1
额定峰值耐受电流 (kA)		31.5, 50	200~400kVA	30
			>400kVA	63
额定关合电流 (kA)		31.5, 50		
工频耐压 (1min) (kV)		相对地及相间 42	油浸式 35	≤300V 2kV
		隔离断口 48	干式 28	>300V 2.5kV
雷电冲击耐压 (峰值, kV)		相对地及相间 75	75	
		隔离断口 85		
箱体防护等级		IP33	IP23	IP33
噪声水平 (dB)			油浸式<55	
			干式<65	

注 变压器容量小于 500kVA 时，对额定短时耐受电流、额定峰值耐受电流不作要求。



## 第5篇 低压供配电系统

主 编：丁 杰 孙牧海 王 勇 逢 京

编写人员：付胜权 刘叶语 刘 薇 刘寅颖 吴 献

武全力 谢哲明



# 第 1 章 概 述

安全用电是电气技术的重要内容，而保证安全用电的最简便的方法就是采用低压或者超低压向用电设备供电，低压供配电系统是用电的末端系统或者终端系统。从供电的总系统来看常用的电压等级可以参考表 5.1-1。

表 5.1-1 50Hz 交流设备的额定电压和系统标称电压

名 称	电 压 (V)
三相受电设备的额定电压和系统标称电压	36, 42, 100, 127, 220/380, 380/660, 1140
三相供电设备的额定电压	36, 42, 100, 133, 230/400, 400/690, 1200
单相受电设备的额定电压	6, 12, 24, 36, 48, 100, 127, 220, 380
单相供电设备的额定电压	6, 12, 24, 36, 48, 100, 130, 230, 400

表 5.1-1 是指交流电网系统的电压参数，而未标注直流系统，这是由于交流系统的变压方式比较简单，用途比较广泛，特别是在电动机驱动的系统通常用的都是交流电机，如电梯、排水泵等。

随着建筑电气的人性化研究，特别是计算机系统的应用日益广泛，低电压直流系统的应用有着一个广阔的前景。

从 5.1-1 可以看出，50Hz 交流设备的额定电压和系统标称电压最高不超过 1140V，而通常的标准是指 1000V 以下。为了远距离输送电力的需要少数动力系统采用了 660V 及 1140V 的电压等级，一般电力系统采用的是 220/380V 电压等级，因此，通常所称的低压指的就是 220/380V 电压等级，在变压器的输出端 220/380V 实际是在同一个低压系统内对于不同的接线端之间的电压，如图 5.1-1 (a) 所示。现在常用的是三相系统，每个相间的空间相角是 120°。在图 5.1-1 中，L1、L2、L3 之间的电压是 380V，而 L1 与 N、L2 与 N、L3 与 N 之间的电压均为 220V，如图 5.1-1 (a) 所示，由于变压器的接线形式很多，这里仅举以下六种形式作为参考。

交流 50Hz/50V 是一个很重要的参数，IEC 标准明确指出，对一般人来说这是一个安全电压，所以用 36V、24V、12V 的配电系统属于安全电压系统，人触及了这个电压等级的带电导体将不会发生危及生命的事故。例如，在允许游客触及的水池中，其用电设备的电压应采用低于 36V 的电压等级，即使人下到水中也不会发生触及生命安全的事故。

所以，在低压系统设计中选择一个恰当的电压等级是非

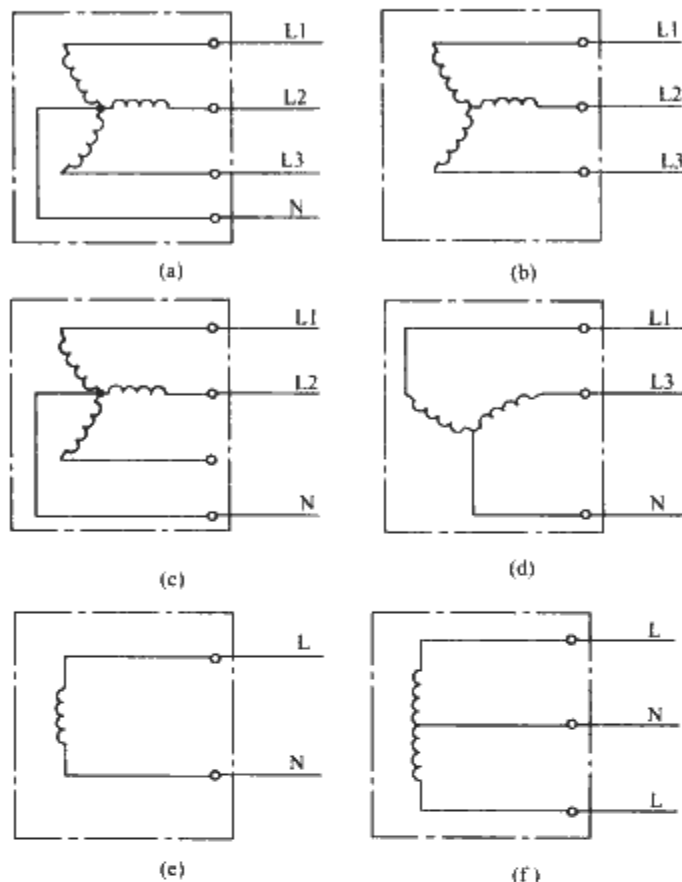


图 5.1-1 带电导体系统的型式

(a) 三相四线制；(b) 三相三线制；(c) (d) 两相三线制；(e) 单相二线；(f) 单相三线制

常重要的，而要考虑的因素包括以下几点：

1) 用电设备的功率。对于大功率的电力设备，它在运行中将会产生很大的电压损失，而长距离的输电则不能满足电力设备的电压需求，采用较高的电压则会减小这种损失，保证电力设备的运转。

2) 用电设备的安全需求。

3) 用电设备的环境条件。随着国民经济的发展，人民生活、生产中电气化的普及，低压配电系统深入到千家万户。低压电气系统的供配电设备，在低压系统的发展中也层出不穷，工程设计中设备的选型和应用必须与环境相适应。

在用电带来的便利的同时也有潜在的各种隐患，如人身电击事故的发生、用电不当和供配电系统老化引起的火灾等危险事故随之而来。低压用电设备大量采用非线性负载，引起系统内电源质量的劣化，同样会造成用电设备的损坏和电气火灾的发生。

本篇着重论述了低压供配电系统，在进行工程设计中遵循的设计规范和一些经验，提醒广大设计工作者和用户，如何正确进行工程设计和安全用电。



## 第2章 负 荷 分 级

### 1 规范对负荷分级的原则规定

根据对供电可靠性的要求及供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度，电力负荷分为以下三级。

#### 1.1 一级负荷

- 1) 供电将造成人身伤亡的负荷。
  - 2) 中断供电将造成重大政治、经济损失的负荷，包括造成重大设备损坏、重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、有害物质溢出严重污染环境、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等的负荷。
  - 3) 中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位正常工作的负荷，包括涉及重要交通枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、大型体育场、经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所等用电单位中的重要电力负荷。
- 在一级负荷中，当中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷，以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷，应视为特别重要的负荷。如在工业生产中正常电源中断时处理安全生产所必须的应急照明、通信系统、保证安全停产的自动控制装置等；民用建筑中大型金融中心的关键电子计算

机系统和防盗报警系统、大型国际比赛场馆的记分系统及监控系统等。

#### 1.2 二级负荷

- 1) 中断供电将在政治、经济上造成较大损失的负荷。例如，主要设备损坏，大量产品报废，连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复，重点企业大量减产等。
- 2) 中断供电将影响重要用电单位正常工作的负荷。例如，交通枢纽、通信枢纽等用电单位中的重要电力负荷，以及中断供电将造成大型影剧院、大型商场等较多人员集中的重要的公共场所秩序混乱的负荷。

#### 1.3 三级负荷

不属于一级和二级的电力负荷。

由于各行业的一级负荷、二级负荷很多，规范只能对负荷分级作原则性规定，具体划分需在行业标准中规定。

### 2 部分行业的负荷分级

民用建筑负荷分级，见表 5.2-1。

表 5.2-1 民用建筑负荷分级

负荷等级	负荷所属用户	用电设备（或场所）名称
一级负荷	特别重要负荷	中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷
		特别重要场所不允许中断供电的负荷
		国家气象台
		气象业务用电子计算机系统
		国家计算中心
		电子计算机系统
		甲等剧院
		调光用电子计算机系统
		大型博物馆、展览馆
		防盗信号电源、珍贵展品展室的照明
		重要图书馆（藏书上百万册）
		检索用电子计算机
		大型国际比赛场馆
		计时记分电子计算机系统以及监控系统
一级负荷	一般重要负荷	大型百货商店（场）
		经营管理用电子计算机系统
		大型金融中心（银行）
		关键电子计算机系统和防盗报警系统
		国家及省、市、自治区广播、电视台
		电子计算机系统
		电信枢纽卫星站
		保证通信不中断的主要设备和重要场所的应急照明
		民用机场台站
		航空管制、导航、通信、气象、助航灯光系统设施和台站；边防、海关的安全检查设备；航班预报设备；三级以上油库，为飞行及旅客服务的办公用房
一级负荷	一般重要负荷	国宾馆、国家级大会堂、国家级国际会议中心
		主会场、接见厅、宴会厅、照明、电声、录像电子计算机系统
	一级负荷用电单位中的设备	(1) 消防用电设备，如消防水泵、消防电梯、排烟及正压风机、消防中心（控制室）电源
		(2) 应急照明、疏散标志灯
		(3) 走道照明、值班照明、警卫照明、障碍标志灯
		(4) 主要业务用电子计算机系统电源
		(5) 保安系统电源
		(6) 电话机房电源
		(7) 客梯电力
		(8) 排污泵
		(9) 变频调速恒压供水生活水泵

续表

负荷等级	负荷所属用户	用电设备(或场所)名称
一级负荷	四星级及以上宾馆	宴会厅电声、新闻摄影、录像电源,宴会厅、走道照明
	国宾馆、国家级大会堂、国际会议中心	总值班室、会议室、主要办公室、档案室、排污泵、客梯电源
	地、市级及以上气象台	气象雷达、电报及传真收发设备、卫星云图接收机及语言广播电源,气象绘图及预报照明
	科研院所、高等院校	重要实验室,如生物制品、培养剂等
	甲等剧场	舞台、贵宾室、演员化妆室照明,舞台机械电力、电声、广播、电视转播及新闻摄影电源
	省、直辖市及县级以上体育场、馆	比赛厅、主席台、贵宾室、接待室、新闻发布厅及走道照明,检录处、仲裁录放室、终点摄像室、编印室、电脑室、电声、广播、电视转播及新闻摄影电源
	县级及以上医院	急诊部、监护病房、手术部、分娩室、婴儿室、血液病房的净化室、血液透析室、病理切片分析、CT扫描室、血库、高压氧仓、加速器机房、治疗室、配血室的电力照明,培养箱、冰箱、恒温箱的电源、走道照明
	银行	大型银行营业厅照明、一般银行的防盗照明
	百货商场	营业厅、门厅照明
	广播电台、电视台	直接播出的语音播音室、控制室、电视演播厅、中心机房、录像室、微波机房及其发射机房的电力和照明
	国家级政府办公楼	主要办公室、会议室、总值班室、档案室照明
	民用机场	候机楼、外航驻机场办事处、机场宾馆及旅客过夜用房、站坪照明与站坪机务用电
	高层建筑	消防用电、应急照明、客梯电力、变频调速(恒压供水)生活水泵、排污泵
	大型火车站	国境站的旅客站房、站台、天桥、地道的用电设备
	水运客运站	通信、导航设施
	监狱	警卫照明、提审室照明
二级负荷	二级负荷用户中的设备	消防用电、客梯电力、排污水泵、变频调速(恒压供水)生活水泵、主要通道及楼梯间照明
	省部级办公楼	主要办公室、会议室、总值班室、档案室
	大型博物馆、展览馆	展览照明
	四星级以上宾馆、饭店	客房照明
	甲等影院	照明与放映用电
	医院	电子显微镜、X光机电源、高级病房、肢体伤残康复病房照明
	小型银行	营业厅、门厅照明
	大型百货商场、贸易中心	自动扶梯、空调设备
	中型百货商场	营业厅、门厅照明
	电视台、广播电台	洗印室、电视电影室、审听室
	民用机场	除特别重要及一级负荷以外的其他用电
	水运客运站	港口重要作业区、一等客运站用电
	大型或有特殊要求的冷库	制冷设备电力、电梯电力、库房照明
	其他	一级负荷用户中的生活水泵、客梯电力、厨房动力与照明、空调设备 特别重要负荷用户中的一般负荷

注 该表引自《全国民用建筑工程设计技术措施——电气》。

### 第 3 章 低压供配电系统

#### 1 电力供配电系统

##### 1.1 基本原则

- 1) 低压电力供配电系统应根据工程性质、规模、负荷容量等因素综合考虑。应满足生产和使用所需的供电可靠性和电能质量的要求，同时应注意接线简单，操作方便安全，具有一定灵活性，能适应生产和使用上的变化及设备检修的需要。
- 2) 自变压器二次侧至用电设备之间的低压配电级数不宜超过三级。
- 3) 在正常环境的车间或建筑物内，当大部分用电设备容量不很大且又无特殊要求时，宜采用树干式配电。
- 4) 当用电设备容量大，或负荷性质重要，或在潮湿、腐蚀性环境的车间、建筑内，宜采用放射式配电。
- 5) 一些用电设备距供电点较远，而彼此相距很近，容量很小的次要用电设备，可采用链式配电。但每一回路链接设备不宜超过 5 台，总容量不超过 10kW。
- 6) 在高层建筑内，当向楼层各配电点供电时，宜用分区树干式配电，但部分较大容量的集中负荷或重要负荷，应从低压配电室以放射式配电。
- 7) 平行的生产流水线或互为备用的用电设备，根据生

- 产要求，宜由不同的母线或线路配电。同一生产流水线的用电设备，宜由同一母线或线路配电。
- 8) 单相用电设备的配置应力求三相平衡。在 TN 及 TT 系统的低压电网中，如选 Yyn0 联结组别的三相变压器，其由单相负荷三相不平衡引起的中性线电流不得超过 Yyn0 联结的变压器低压绕组额定电流的 25%，且任一相的电流不得超过额定电流值。
- 9) 冲击负荷和用量较大的电焊设备，宜与其他用电设备分开，用单独线路或变压器供电。
- 10) 供配电系统的设计应便于运行、维修，生产班组或工段比较固定时，一个大厂房可分车间或工段配电，多层厂房宜分层设置配电箱，每个生产小组可考虑设单独的电源开关。实验室的每套房间宜有单独的电源开关。
- 11) 在用电单位内部的邻近变电所之间宜设置低压联络线。
- 12) 由树干式系统供电的配电箱其进线开关宜选用带保护的开关，由放射式系统供电的配电箱其进线可以用隔离开关。

##### 1.2 常用低压电力配电系统

常用低压电力配电系统的接线图及有关说明见表 5.3-1。

表 5.3-1 常用低压电力配电系统的接线图及有关说明

名称	接 线 图	简 要 说 明
放射式		配电线故障互不影响，供电可靠性较高，配电设备集中，检修比较方便，但系统灵活性较差，有色金属消耗较多，一般在下列情况下采用： (1) 容量大、负荷集中或重要的用电设备 (2) 需要集中联锁启动、停车的设备 (3) 有腐蚀性介质和爆炸危险等场所不宜将用电及保护启动设备放在现场
树干式		(1) 配电设备及有色金属消耗较少，系统灵活性好，但干线发生故障时影响范围大 (2) 一般用于用电设备的布置比较均匀、容量不大、又无特殊要求的场合
变压器 干线式		(1) 除了具有树干式系统的优点外，接线更简单，能大量减少低压配电设备 (2) 为了提高母干线的供电可靠性，应适当减少接出的分支回路数，一般不超过 10 个 (3) 频繁启动、容量较大的冲击负荷，以及对电压质量要求严格的用电设备，不宜用此方式供电

续表

名称	接线图	简要说明
备用柴油发电机组		(1) 10kV 专用架空线路为主电源，快速自启动型柴油发电机组做备用电源 (2) 用于附近只能提供一个电源，若得到第二个电源需要大量投资时，经技术经济比较，可采用此方式供电。宜注意以下几个方面 1) 与外网电源间应设机械与电气联锁，不得并网运行 2) 避免与外网电源的计费混淆 3) 在接线上要具有一定的灵活性，以满足在正常停电（或限电）情况下能供给部分重要负荷用电
链式		(1) 特点与树干式相似，适用于距配电屏较远而彼此相距又较近的不重要的小容量用电设备 (2) 链接的设备一般不超过 5 台，总容量不超过 10kW (3) 供电给容量较小用电设备的插座，采用链式配电时，每一条环链回路的数量可适当增加

注 本表引自《工业与民用配电设计手册》。

2 照明配电系统

2.1 基本原则

- 1) 照明负荷应根据其中断供电可能造成的影响及损失，合理地确定负荷等级，并应根据照明的类别，结合电力供电方式统一考虑，正确选择照明配电系统的配电方案。
- 2) 正常照明电源宜与电力负荷合用变压器，但不宜与较大冲击性用电负荷合用。如果必须合用时，应由专线供电，并应校核电压波动值。对于照明容量较大而又集中的场所，如果电压波动或偏差过大，严重影响照明质量和光源的寿命，可装设照明专用变压器或调压装置。
- 3) 备用照明（供继续和暂时继续工作的照明）应由两路电源或两回线路供电，其具体方案如下：
  - ① 当有两路高压电源供电时，备用照明的供电干线应接自两段高压母线上的不同变压器。当采用两路低压供电时，备用照明的供电应从两段低压配电干线分别接引。
  - ② 当设有自备发电机组时，备用照明的一路电源应接自发电机作为专用供电回路，另一路可接自正常照明电源。在重要场所，应设置带有蓄电池的应急照明灯或用蓄电池组供电的备用照明，供发电机组投运前的过渡期间使用。
  - ③ 当供电条件不具备两路电源或两回线路时，备用电源宜采用蓄电池组，或设置带有蓄电池的应急照明灯。
  - ④ 当备用照明作为正常照明的一部分并经常使用时，其配电线路及控制开关应分开装设。当备用照明仅在事故情况下使用时，则当正常照明因故停电时，备用照明应自动投入工作。在有专人值班时，可采用手动切换。
  - ⑤ 疏散照明最好由另一台变压器供电。当只有一台变压器时，可在母线处或建筑物进线处与正常照明分开，还可采用镉镍电池（荧光灯还需带有直流逆变器）的应急照明灯。
  - ⑥ 在照明分支回路中，避免采用三相低压断路器对三个单相分支回路进行控制和保护。
  - ⑦ 照明系统中的每一单相回路的电流不宜超过 16A，灯具数量不宜超过 25 个。大型建筑组合灯具每一单相回路

- 电流不宜超过 25A，灯具数量不宜超过 60 个。建筑物轮廓灯每一单相回路不宜超过 100 个。
- ⑧ 插座宜由单独的回路配电，并且一个房间内的插座宜由同一回路配电。当插座为单独回路时，数量不宜超过 10 个（组）。备用照明、疏散照明的回路上不应设置插座。
- ⑨ 为减轻气体放电光源的频闪效应，可将其同一灯具或不同灯具的相邻灯管分接在不同相序的线路上。
- ⑩ 机床和固定工作台的局部照明一般由电力线路供电。
- ⑪ 移动式照明可由电力或照明线路供电。
- ⑫ 道路照明可以集中由一个变电所供电，也可以分别由几个变电所供电，尽可能在一处集中控制。控制方式采用手动或自动，控制点应设在有人值班的地方。
- ⑬ 露天工作场地、露天堆场的照明可由道路照明线路供电，也可由附近有关建筑物供电。
- ⑭ 每个三相供电照明配电箱内最大最小相的单相负荷电流不宜超过 30%。

2.2 电压选择

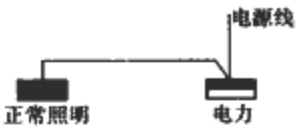
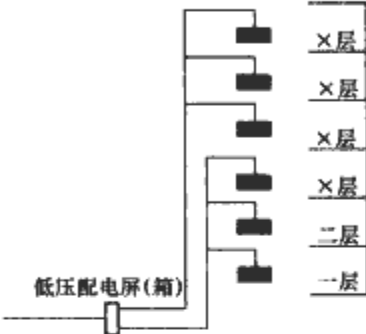
- 1) 照明网络一般采用 220/380V 三相四线制中性点直接接地系统，灯用电压一般为 220V。当需要采用直流应急照明电源时，其电压可根据容量大小、使用要求来确定。
- 2) 安全电压限值有两挡：①正常环境 50V；②潮湿环境 24V，安全电压及设备额定电压不应超过此限值。目前，我国常用于正常环境的手提行灯电压为 36V。在不便于工作的狭窄地点，且工作者接触有良好接地的大块金属面（如在锅炉、金属容器内）时，用电压 12V 的手提行灯。
- 3) 在特别潮湿、高温、有导电灰尘或导电地面（如金属或其他特别潮湿的土、砖、混凝土地面等）的场所，当灯具安装高度距地面为 2.4m 及以下时，容易触及的固定式或移动式照明器的电压可选用 24V，或采取其他防电击措施。

2.3 常用照明配电系统

常用照明配电系统的接线图及有关说明见表 5.3-2。

表 5.3-2 常用照明配电系统的接线图及有关说明

供电方式	照明配电系统接线图	简要说明
一台变压器		照明与电力负荷在母线上分开供电，疏散照明线路与正常照明线路分开
一台变压器及一路备用电源线		照明与电力负荷在母线上分开供电，暂时继续工作用的备用照明由备用电源供电
一台变压器及蓄电池组		照明与电力负荷在母线上分开供电，暂时继续工作用的备用照明由蓄电池组供电
两台变压器		照明与电力负荷在母线上分开供电，正常照明和应急照明由不同变压器供电
变压器—干线（一台）		对外无低压联络线时，正常照明电源接自干线总断路器之前
变压器—干线（两台）		两段干线间设联络断路器，照明电源接自变压器低压总开关的后侧，当一台变压器停电时，通过联络开关接到另一段干线上，应急照明由两段干线交叉供电
由外部线路供电		适用于不设变电所的重要或较大的建筑物

续表		
供电方式	照明配电系统接线图	简 要 说 明
由外部线路供电		适用于次要的或较小的建筑物，照明接于电力配电箱总断路器前
低压供电（多层建筑）		在多层建筑物内，一般采用干线式供电，总配电箱装在底层

注 本表引自《工业与民用配电设计手册》。



## 第4章 应急电源及其供配电系统

### 1 应急电源种类

#### (1) 自备应急柴油发电机组

它是以柴油机为动力，拖动工频交流同步发电机组成的发电设备。快速自起动的发电机组，适用于允许中断供电时间为15s以上的供电。

#### (2) UPS不间断电源

它主要以电力变流器储能装置（蓄电池）和开关（电子式和机械式）构成的保证供电连续性的静止型交流不间断电源装置，适用于允许中断供电时间为毫秒级的负荷。

#### (3) EPS应急电源

它是由充电器、逆变器、蓄电池、隔离变压器，切换开关等装置组成的一种把直流电能逆变成交流电能的应急电源。适用于允许中断供电时间为0.25s以上的负荷。

#### (4) 有自动投入装置的独立于正常电源的专用馈电线路

适用于自动投入装置的动作时间能满足允许中断供电时间1.5s或0.6s以上的应急电源。

#### (5) 蓄电池

适用于容量不大的特别重要负荷，有可能采用直流电源者。对于(2)、(3)、(4)所述，应急电源的工作时间应按生产技术上允许的停车时间考虑，当与自动起动的发电机组配合使用时，不宜少于10min。

### 2 应急电源系统

1) 常用的应急电源可使用独立于正常电源的发电机组、不间断电源或供电网络中有效地独立于正常电源的专用馈电线路。在工程设计中，应详细研究用电设备允许中断电源的时间，供电连续性、可靠性的要求，来确定是否纳入重要负荷、特别重要负荷，尽量减少重要负荷、特别重要负荷的负荷量。

2) 为确保对特别重要负荷的供电，严禁将其他负荷接入应急供电系统。

3) 应急电源与正常电源之间必须采取可靠措施防止其并列运行。目的是保证应急电源的专用性，更重要的是防止向系统反送电。

4) 防灾或类似的重要用电设备的两回电源线路应在电源线路的最末一级配电箱处自动切换。

大型企业及重要的民用建筑中往往同时使用几种应急电源，为了使各种应急电源设备密切配合，充分发挥作用，应急电源接线示例（以蓄电池、不间断供电装置、柴油发电机同时使用为例）如图5.4-1和图5.4-2所示。

### 3 备用或应急电源的组成

#### 3.1 柴油发电机组

柴油发电机组是以柴油机为动力的发电设备，具有热效率高、起动迅速、结构紧凑、燃料存储方便、占地面积小、工程量小、维护操作简单等特点，是在工程建筑中作为备用电源或应急电源首选的应急电源。柴油发电机组主要由柴油

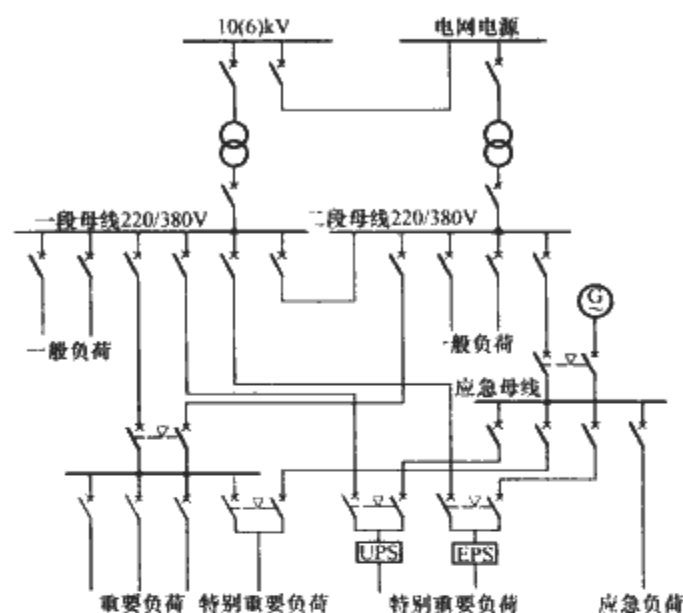


图 5.4-1 应急电源接线示例（一）

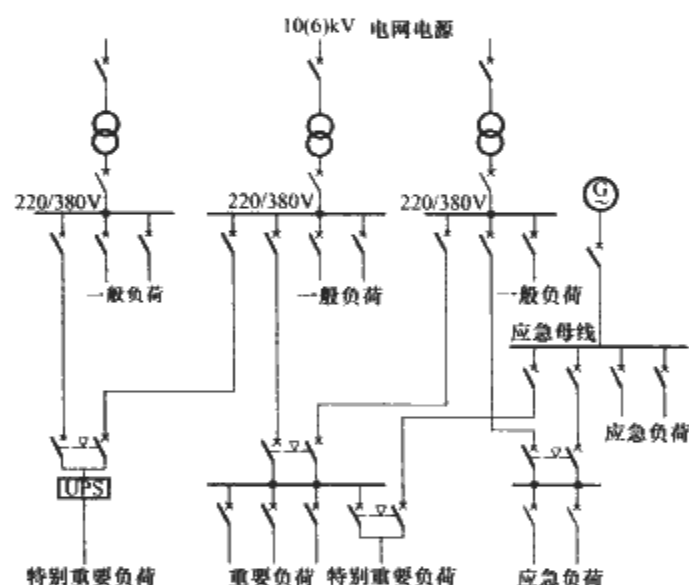


图 5.4-2 应急电源接线示例（二）

机（原动机）、发电机和控制屏三部分组成，这些设备可以组装在一个公共底盘上形成移动式柴油发电机组，也可以把柴油机和发电机组装在一个公共底盘上，控制屏和某些附属设备单独设置，形成固定式柴油发电机组。

#### (1) 柴油发电机组的功能要求

柴油发电机组可分为应急型和备用型。

应急电源用的柴油发电机组，按照国家标准 GB/T 4712—1996，应选用2级以上的自动化机组，应急机组平时应保持准备起动状态，以保证应急时能顺利起动。并根据 GB 12786—2006 标准要求有以下功能：

1) 自动维持准备运行状态。机组应急起动和快速加载时的机油压力、机油温度、冷却水温度应符合产品技术条件的规定。

2) 自动起动和加载。接自控或遥控指令或市电供电中断时，机组能自动起动并供电。机组允许三次自动起动，每次起动时间8~12s，起动间隔5~10s。第三次起动失败时，应发出起动失败的声光报警信号。设有备用机组时，应能自动地将起动信号传递给备用机组，机组自动起动的成功率不

低于98%，市电失电后恢复向负荷供电时间一般为8~20s。

对于额定功率不大于250kW柴油发电机，首次加载量不小于50%额定负荷；大于250kW柴油发电机按产品技术条件之规定。

3) 自动停机。接自控或遥控的停机指令后，机组应能自动停机，对于与市电网并用的备用机组，当电网恢复正常后，机组应能自动切换和自动停机，由电网向负载供电。

自动并联与解列：接自控或遥控的并联与解列指令后，两台同型号的机组应能自动并联与解列。通常当第一台机组单机运行时功率持续达到产品技术条件规定时，应向第二台机组发出起动指令，使其自动投入并联运行。当两台并联机组的总输出功率持续减小到不大于总额定功率的40%时，自控系统应向两台并联机组中的一台发出解列和停机的指令。

两台机组并联运行时，应能自动分配输出的有功功率和无功功率，其分配差度均不应超过±10。

4) 自动补给机组。它的燃油、机油，冷却水能够自动补充，机组起动用蓄电池自动充电。

5) 有过载、短路、过速度（或过频率）、冷却水温度过高、机油压力过低等项的保护装置。并根据需要选设过电压、欠电压、失电压、欠速度（或欠频率）、机油温度过高、起动空气压力过低、燃油箱油面过低、发电机绕组温度过高等方面的保护装置。

6) 有表明正常运行或非正常运行的声光信号系统。柴油发电机组性能等级见表5.4-1。

表 5.4-1 柴油发电机组性能等级

性能等级	定 义	用 途
G1 级	用于只需规定其电压和频率的基本参数的连接负载	一般用途（照明和其他简单的电气负载）
G2 级	用于对其电压特性与公用电力系统有相同要求的负载，当负载变化时，可有暂时的电压和频率的偏差	照明系统、泵、风机和卷扬机
G3 级	用于对频率、电压和波形特性有严格要求的连接设备（整流器和硅可控整流器控制的负载对发电机电压波形影响需要特殊考虑的）	无线电通信和晶闸管整流器控制的负载
G4 级	用于对频率、电压和波形特性有特别严格要求的负载	数据处理设备或计算机系统

注 本表引自《工业与民用配电设计手册》。

## (2) 柴油发电机组容量选择

1) 备用电容量按应急、备用负荷的大小和起动大的电动机容量等因素综合考虑确定，其机组台数由工程要求确定。

应急电源容量按应急负荷的大小和起动大的电动机容量等因素综合考虑确定。其机组台数由工程要求确定。

2) 在方案或初步设计阶段，按下述方法进行估算并选择其中最大者：

①按建筑面积估算。建筑面积在10 000m<sup>2</sup>以上的大型建筑，按15~20W/m<sup>2</sup>；建筑面积在10 000m<sup>2</sup>以下的中小型建筑，按10~15W/m<sup>2</sup>。

②可按供电变压器容量的10%~20%估算柴油发电机的容量。

③按电动机起动容量估算。当允许发电机端电压瞬时

压降为20%时，发电机组直接起动异步电动机的能力为每1kW电动机功率，需要约5kW发电机组功率。若电动机降压起动或变频起动，由于起动电流小，柴油发电机组的容量应按相应比例减小。

3) 在施工图阶段可根据一级负荷、消防负荷以及某些重要的二级负荷容量，按下述方法计算并选择其中容量最大者。

### ① 按稳定负荷计算发电机容量

$$S_{G1} = \frac{P_{\Sigma}}{\eta_{\Sigma} \cos \varphi} \quad (5.4-1)$$

式中， $S_{G1}$ 为按稳定负荷计算的发电机视在功率，kVA； $P_{\Sigma}$ 为发电机总负荷计算功率，kW； $\eta_{\Sigma}$ 为所带负荷的综合效率，一般取0.82~0.88； $\cos \varphi$ 为发电机额定功率因数，一般取0.8。

### ② 按尖峰负荷计算发电机容量

$$S_{G2} = \frac{K_i}{K_G} S_m = \frac{K_i}{K_G} \sqrt{P_m^2 + Q_m^2} \quad (5.4-2)$$

式中， $S_{G2}$ 为按尖峰负荷计算发电机视在功率，kVA； $K_i$ 为因尖峰负荷造成电压、频率降低而导致电动机功率下降的系数，一般取0.9~0.95； $K_G$ 为发电机允许短时过载系数，一般取1.4~1.6； $S_m$ 为最大的单台电动机或成组电动机起动容量，kVA； $P_m$ 为 $S_m$ 的有功功率，kW； $Q_m$ 为 $S_m$ 的无功功率，kVA；

### ③ 按发电机母线允许压降计算发电机容量

$$S_{G3} = \frac{1 - \Delta U}{\Delta U} X'_d S_{\Sigma \Delta} \quad (5.4-3)$$

式中， $S_{G3}$ 为按母线允许压降计算发电机视在功率，kVA； $\Delta U$ 为发电机母线允许压降，一般取0.2； $X'_d$ 为发电机的瞬态电抗，一般取0.2； $S_{\Sigma \Delta}$ 为导致发电机最大电压降的电动机的最大起动容量，kVA。

4) 柴油发电机的额定功率系指外界大气压力为101.325kPa (760mmHg)、大气温度为20℃、相对湿度为50%的情况下，保证能连续运行12h的功率（包括超负荷110%运行1h），如连续运行时间超过12h，则应按90%额定功率使用；如气压、气温、湿度与上述规定不同，应对柴油发电机的额定功率进行修正。

5) 全压起动大容量笼型异步电动机时，母线电压不应低于额定电压的75%或80%。电动机全压起动允许容量取决于发电机的容量和励磁方式以及电动机的额定起动容量。

宜选用高速柴油发电机组和无刷型自动励磁装置，选用的柴油发电机组应装设快速自动起动及电源切换装置，并应具有连续三次自动起动的功能，该机组宜采用起动蓄电池起动。

## 3.2 UPS不间断电源

不间断电源适用于向用户的关键设备，如互联网数据中心、银行的清算中心和通存通取网控系统、证券交易及期货交易系统、民航和铁路的售票系统、卫星地面站及民航的航管调度系统、冶金及大规模集成电路的流水生产线管理系统、财税信息系统、气象与地震预报和监控系统等提供高质量的无时间中断的交流电源。

### (1) 不间断电源(UPS)的工作原理

UPS一般由整流器、蓄电池、逆变器、静态开关和控制系统组成。通常采用在线式UPS。它首先将市电输入的交流电源变成稳压直流电源，经过蓄电池和逆变器，利用逆变器将直流重新转变成稳定的、纯洁的、高质量的交流电

源。可完全消除在输入电源中可能出现的任何电源问题（电压波动、频率波动、谐波失真和各种干扰）。其工作原理框图如图 5.4-3 所示。

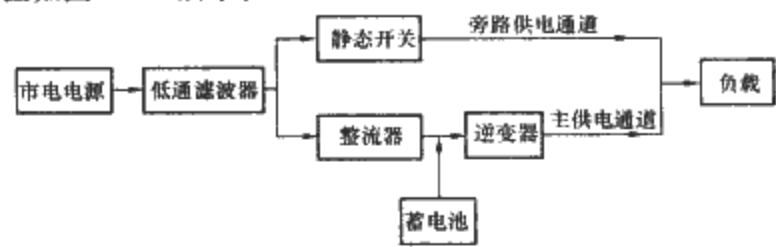


图 5.4-3 在线式 UPS 工作原理框图

(2) UPS 不间断电源设置原则

符合下列情况之一时，应设置不间断电源装置：

- 1) 用电负荷不允许中断供电时（如用于实时性计算机的电子数据处理装置、证券交易及期货交易系统、民航和铁路的售票系统等）。
- 2) 当用电负荷允许中断供电时间要求在 1.5s 以内时。
- 3) 重要场所（如监控中心等）的应急备用电源。
- 4) 需要高质量电源，如对电压、频率、波形失真等有较高要求的场所。

(3) UPS 不间断电源选择

1) 不间断电源设备输出功率，应按下列条件选择：

- ① 不间断电源设备给电子计算机供电时，单台 UPS 其输出功率应大于电子计算机各设备额定功率总和的 1.5 倍。对其他用电设备供电时，为最大计算负荷的 1.3 倍。
- ② 负荷的最大冲击电流应不大于不间断电源设备的额定电流的 150%。

2) UPS 应急供电时间。

- ① 为保证用电设备按照操作顺序进行停机时，其蓄电池的额定放电时间可按停机所需最长时间来确定，一般可取 8~15min。
- ② 当有备用电源时，为保证用电设备供电连续性，其蓄电池额定放电时间的确定，一般可取 10~30min。在系统中设有应急发电机时，UPS 应急供电时间可以短一些。
- ③ 如有特殊要求，其蓄电池额定放电时间可根据负荷特性来确定。

(4) UPS 不间断电源系统

根据用电设备对供电可靠性、连续性、稳定性和电源诸参数质量的要求，UPS 不间断电源宜采用的几种类型详见表 5.4-2。

表 5.4-2 UPS 不间断电源系统类型

序号	系统方式	系统图	简要说明
1	单一式不间断电源系统		因只有一个不间断电源设备，一般用于系统容量较小，可靠性要求不高的场所
2	冗余式不间断电源系统		因不间断电源设备中增设一个或几个不间断电源装置作为备用确保了供电的连续性。一般用于系统容量较小的系统中
3	并联式不间断电源系统		可组成大型 UPS 供电系统，供电可靠性高，运行比较灵活，便于检修
4	并联冗余式不间断电源系统		可组成大型 UPS 供电系统，供电可靠性高，运行灵活方便，便于检修，对已出现的事故有冗余处理措施。可用于互联网数据中心、银行的清算中心等重要场所

注 本表引自《工业与民用配电设计手册》。

3.3 EPS 应急电源

EPS (Emergency Power Supply) 利用 IGBT 大功率在模块及相关的逆变技术而开发的一种把直流电能逆变成交流电能的大型应急电源，其容量从 0.5~400kW，是一种免维护无人值守的安全可靠的集中供电式应急电源装置。

(1) EPS 应急电源的工作原理

应急电源 EPS 由充电器、逆变器、蓄电池、隔离变压器、切换开关、监控器和显示、机箱及保护等装置组成。

应急电源 EPS 一般分不可变频应急电源和可变频应急电源。不可变频 EPS 应急电源工作原理如图 5.4-4 所示，不予详述。

可变频 EPS 应急电源工作原理如图 5.4-5 所示。当电网有电时 QF 合闸，经整流给逆变器提供直流电，并经逆变器

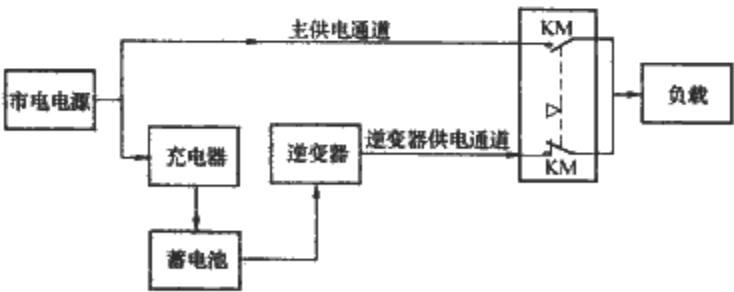


图 5.4-4 不可变频 EPS 应急电源工作原理

给用电设备供电，同时充电器对电池组充电。当电网断电时或者低于 380V 的 15% 时，KM 吸合由电池组给逆变器提供直流电。当需要电机负载工作时，给予起动信号（如运行信号、远程控制、消防联动信号），逆变器立即输出。从 0~50Hz 变频电能给电动机进行变频起动，其频率到达 50Hz

后保持正常运行。手动/自动选择转换开关，在自动位置可进行远程控制和消防联动（DC24V）操作，在手动位置可进行本机操作，此时远程控制和消防联动不能进行操作，运行信号和手动或者自动位置消防中心可监控。

(2) 应急电源 EPS 供电时间、与市电转换的时间

应急电源 EPS 应急供电时间一般为 60min、90min、120min，应急电源 EPS 与市电的转换时间为 0.1~0.2s。

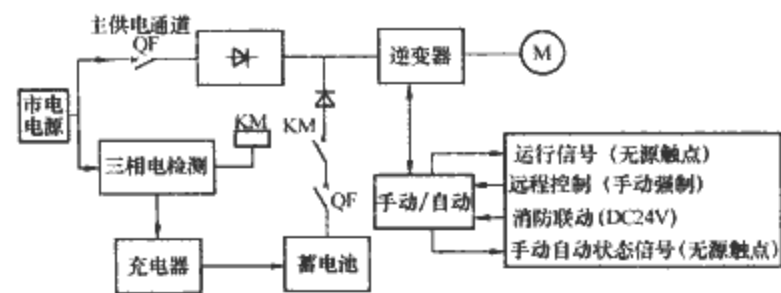


图 5.4-5 可变频 EPS 应急电源工作原理

## 第5章 民用建筑供配电系统

### 1 高层建筑供配电系统

高层建筑分为一般高层建筑及商业性高层建筑。一般高层建筑是指普通居民住的高层住宅、机关单位自用的办公楼等。商业性高层建筑是指那些出租或出卖的高层公寓及商住楼、宾馆饭店、写字楼、办公楼等。商业性高层建筑与一般高层建筑相比,其用电特点表现为用电设备种类多、用电水平高、耗电量大、供电可靠性要求高。

#### 1.1 高压供电系统

1) 高层建筑的配变电所的设计应根据负荷性质、用电容量、工程特点、所址环境、地区供电条件和节约电能等因素制定设计方案,并进行多方案的技术经济比较,力求做到保障人身安全、供电可靠、技术先进、经济合理和维修方便。并应根据工程特点、规模和发展规划做到近远期结合,并考虑扩容的可能性,适当留有余量。

2) 商业性高层建筑一般需要两路高压电源,为确保一级负荷中特别重要的负荷用电,应配备应急柴油发电机组。

当有两路高压电源供电时,配变电所高压侧宜采用单母线或单母线分段的接线方式。对于250m以上的超高层,可采用10kV中压深入负荷中心的供电方案。一般住宅建筑及1000kVA及以下的变压器,宜采用环网式供电系统。由地区电网供电的配变电所电源进线处,宜装设计量专用的电压、电流互感器及各种表计。

#### 1.2 低压配电系统

高层建筑低压配电系统的确定,应满足计量、维护管理、供电安全及可靠性的要求。应将照明与电力负荷分成不同的配电系统,消防及其他防灾用电设施的配电宜自成一体。

对于容量较大的集中负荷或重要负荷宜从配电室以放射式配电,对各层配电间的配电宜采用下列方式之一:

①工作电源采用分区树干式,备用电源也采用分区树干式或由首层到顶层垂直干线的方式。

②工作电源和备用电源都采用由首层到顶层垂直干线的方式。

③工作电源采用分区树干式,备用电源可引自其他电源干线。

1) 高层建筑垂直供电干线,应视负荷大小及分布情况可采用如下方式:

①插接母线供电干线式,根据功能要求宜分段供电。

②电缆供电干线式系统,线路宜采用预制分支电缆,供电范围视负荷分布情况确定。

③高层建筑内的消防及其他防灾用电设施,以及其他重要用电负荷的工作电源与备用电源应在末端自动切换。高层建筑的应急照明及消防用电宜自成系统。

④高层建筑的配电箱设置和配电回路划分,应根据负荷的性质和密度、防火分区、维护管理、计费要求以及建筑结构形式等条件综合确定。

⑤对于普通高层住宅的照明配电,每一单相回路如装设计量表时其额定电流不宜超过60A。

⑥自层配电箱至用电负荷的分支回路,对于旅馆、饭店、公寓等建筑物内的客房,宜采用每套房间设一分配电箱的树干式配电,每套房间内根据负荷性质再设若干支路。或采用对几套房间按不同用电类别,以几路分别配电的方式。但对贵宾间则直接采取专用分支回路供电,客房内用电设备的配电回路,应装设有过、欠电压保护功能的漏电保护器。

⑦高层住宅的照明计量表应采用一户一表。公用楼梯、公用走道的照明及公用电力计量宜单独设表,并应符合物业管理的要求。

2) 消防用电设施的配电要求。消防控制室、消防水泵、消防电梯、防排烟设施、火灾自动报警、自动灭火装置、火灾应急照明和电动防火门窗、卷帘、阀门等消防用电,一类建筑应按一级负荷要求供电;二类建筑的上述消防用电,应按二级负荷的两回线路要求供电。

①对高压受电的建筑物,其火灾消防及其他防灾系统用电,宜从变压器低压出口处分开自成供电体系,即独立形成防灾供电系统。

②一类建筑的消防水泵、消防电梯、防烟排烟风机的两个电源或两回线路,应在最末一级配电箱处自动切换。

③自备发电设备,应设有自动起动装置并能在30s内供电。二类建筑有自备发电设备时,当采用自动起动有困难时,可采用手动起动装置。

④高层建筑用应急柴油发电机组一般以低压(220/380V)同应急母线段相接,只有在250m以上超高层供电半径难以满足要求时,方考虑中压供电。

### 2 体育建筑供配电系统

综合体育馆建筑按建筑级别分为特级、甲级、乙级、丙级四个等级。按体育场规模分为特大型、大型、中型和小型四个等级。

#### 2.1 体育建筑的负荷分级

1) 甲级以上体育场、体育馆、游泳馆的比赛厅(场)主席台、贵宾室、接待室、广场照明、计时记分装置、计算机房、电话机房、广播机房、电台和电视转播、新闻摄影电源及应急照明等用电设备均为一级用电负荷。特级体育设施应为特别重要负荷。

2) 体育建筑的电气消防用电设备负荷等级应为该工程最高负荷等级。

3) 第1)项中非比赛使用的电气设备及乙级以下体育建筑的用电设备为二级负荷。

#### 2.2 体育建筑的供配电

1) 体育馆应符合一、二级负荷的供电要求,一般采用两个以上高压电源供电,低压母线分段运行,体育馆的电源由变电所引来,一级负荷双路电源末端互投,体育馆的互投线路电源取自不同的母线段。重要负荷根据需要应设柴油发

电机或 UPS、EPS 应急电源。

2) 仅在比赛期间才使用的大型用电设备宜设单独变压器供电。当电源电压偏差不能满足要求时,宜采用有载调压变压器。主要变配电室(间)发电机房严禁设置于大量观众能达到的场所。

3) 户外电气设备、应有适应当地气候条件的防水、防尘、防潮、防虫、耐盐雾腐蚀、防台风等保护措施。高空安装的电气设备应牢固,并应创造良好的安装和维护条件。

4) 供残疾人员使用的电气设备,应符合现行行业标准《城市道路和建筑物无障碍设计规范》(JGJ 50—2001)中的有关规定。

5) 体育建筑的各种电气线路应为暗敷设。在专业维修人员可到达的场所可明设,但应有保护体,并采取防火措施。体育建筑的各种电线,宜采用铜芯导线。

6) 游泳馆属潮湿场所,供游泳、水球、跳水及花样游泳的计时记分设备及其电源箱(柜)插座箱及专用信号盘均应为防水、防潮型,室内的管线及用电设施尚应采取防腐措施。

7) 体育馆内设总配电间,各竞赛场地用电点,宜设电源井或配电箱,其位置不得有碍于竞赛,设置数量及位置由体育工艺确定。对电源井的供电方式宜采用环形系统供电。

8) 体育馆比赛场四周墙壁应设一定数量的配电箱和安全型插座,其插座安装高度不应低于 0.3m。

9) 电源井内不同用途的电气线路,相互之间应保持一定距离或采取隔离措施。为保证维护人员安全,井内电气设备为单侧布置时,其维护距离不应小于 0.6m,电力装置和信号装置分别布置并壁两侧时,其维护距离不应小于 0.8m,井内应有防排水措施。

10) 采用 TN-C-S、TN-S 供电系统,建筑物除采取总等电位外,还应根据需要进行辅助等电位联结。

### 3 影剧院供配电系统

#### 3.1 概述

我国剧场建筑根据使用性质及观看和演出条件可分为歌舞、话剧、戏曲三类。剧场建筑的建设规模按观众容量可分为特大型、大型、中型和小型四种规模。剧场建筑按照的等级可分为特、甲、乙、丙四个等级。

#### 3.2 剧场用电负荷分级及供电系统

##### 1) 剧场用电负荷分级。

一级负荷:应包括甲等剧场的舞台照明、贵宾室、演员化妆室、舞台机械设备、消防设备、电声设备、电视转播、事故照明及疏散指示标志等。

二级负荷:应包括乙、丙等剧场的消防设备、事故照明、疏散指示标志,甲等剧场观众厅照明、空调机房电力和照明、锅炉房电力和照明等。

三级负荷:不属于一、二级用电设备负荷均属三级负荷。

2) 供电系统。一般可采用两路 10kV 电源,选用两台变压器。条件困难时,应取一回路高压加一回路取自市电的低压,或两回路取自不同供电系统的低压加自备发电机组。

剧场用电负荷以单相负荷为主,造成三相负荷严重不平衡,以及采用晶闸管调光引起电压波形畸变等原因,故宜选用 Dyn11 接线组别的配电变压器。如选用 Yyn0 接线组别的配电变压器,应适当加大其容量。

#### 3.3 低压配电系统

低压配电线路采用放射式和树干式相结合的方式。为避免舞台灯光晶闸管调光设施对电声设备、电视转播设备的干扰,两者不应共用一台变压器。比较大的影剧院宜选用两台变压器,一台供音响设备、电视转播等设备,另一台供舞台灯光和其他用电。

舞台演出过程中,可能频繁起动的交流电动机,当其启动冲击电流引起电源电压波动超过 3% 时,宜采用与舞台照明负荷分开的变压器供电。

##### (1) 甲等剧场供电系统电压偏移应符合的规定

1) 照明为 +5% ~ -2.5%。

2) 电力为 ±5%。

需要电视转播或拍摄电影的剧场,在观众厅两侧宜装设容量不小于 10kW,电压为 220/380V 三相四线制的固定供电点。

甲等剧场应设追光室;乙、丙等剧场当不设追光室时,可在楼座观众厅后部或其他合适的位置预留追光电源,容量不得小于 30A。

调光回路应根据剧场类型和舞台大小配置。甲等歌舞剧场应不小于 480 回路;甲等话剧院应不小于 360 回路;甲等戏曲剧场应不小于 240 回路。

除可调回路外,各灯区宜配置 1~3 路直通电源。甲等以上的剧场,每回路容量不得小于 30A,乙等及以下剧场不得小于 20A。

##### (2) 灯光配线应符合的规定

由晶闸管调光装置配出的舞台照明不宜采用多回路共用 N 线方式。当采用多回路共用 N 线方式时,则 N 线截面面积应不小于相线截面面积。

由晶闸管调光装置配出的舞台照明线路应远离电声、电视及通信等线路。当两种线路必须平行敷设时,其间距应大于 1.00m;当垂直交叉时,其间距应大于 0.50m,并应采用屏蔽措施。

天幕地排灯区应设置相应调光回路,同时应设 N 线截面面积不小于相线截面面积的三相回路专用电源。其电源容量为:甲等剧场不得小于 150A,乙等剧场不得小于 100A,丙等剧场不得小于 75A。

### 4 医疗建筑供配电系统

#### 4.1 概述

我国综合医院的建设规模,按病床数量可分为 200、300、400、500、600、700、800、900、1000 九种规模。按照等级可分为一级、二级、三级医院。一般综合医院有门诊部、住院部、手术部、辅助医疗、行政办公及服务性用房等部分。

#### 4.2 供电系统

按照我国现行医院等级标准,医院的供电等级为一级或二级负荷。另外随着科学技术的不断进步与发展,医院的用电设备也越来越多,越来越精密,对用电的要求也越来越高。为了确保医院供电的安全性、可靠性,根据医院的规模采用以下几种供电方式:

1) 采用两路 10kV 电缆专线供电,自备柴油发电机,重要设备末端采用 UPS 或 EPS 供电。此类适用于特级及三级医院。

2) 采用两路 10kV 电缆专线供电,重要设备末端采用



UPS或EPS供电。此类适用于三级医院。

3) 采用两路10kV电缆供电或一路10kV电缆专线供电、一路低压供电,此类系统适用于二级医院。

4) 一路10kV供电,重要设备末端采用UPS或EPS供电,仅用于一级医院。

收治其他重症传染病患者的医院保证双路10kV电源供电,两路均能为100%负荷供电且一路检修或故障时,另一路不断电,当不能满足时应设自备柴油发电机组。

收治传染性非典型肺炎患者的医院空调负荷用电采用专用变压器,与配电照明变压器分开。

5) 放射线科具备下列条件之一者,宜设置专用电源变压器:

①X射线管电流200mA及以上的射线机超过5台时。

②X射线管电流200mA及以上的射线机,虽不足5台但其中含有CT机时。

③X射线机设备总容量超过100kVA时。

④具备300张及以上床位的综合医院。

⑤虽不具备上述条件,但低压电网不能满足射线机要求的供电质量时。

放射线科采用专用电源变压器仍满足不了其中个别放射线机的供电质量要求时,宜对其中部分或全部放射线机采用稳频、稳压设备或自动有载调压变压器供电。

供电给放射线机的电源变压器、配电装置等电源设备,应靠近放射线科设置。

### 4.3 低压配电系统

根据医疗建筑负荷的特殊性并考虑到医院的可持续发展,可把用电设备分为几个供电系统:一般照明、事故照明、电压波动小一般医疗用电(插座)负荷、电压波动大的医用数字检影成像系统设备、空调及动力负荷,应根据负荷性质采用不同的供电方式。

①重要医疗设备:CT机(计算机断层扫描机)、MRI机(磁共振机)、DSA机(心血管造影机)、ECT机(同位素断层扫描机)、 $\alpha$ -刀、 $\gamma$ -刀等医疗装备电宜由变电所不同低压母线段两路电源供电,末端自动切换。

②烧伤病房、血透中心、中心手术部的电力及照明等,宜由配变电所低压母线段两路电源供电,末端自动切换。

③监护病房、产房、婴儿室、血液病房的净化室、血液透析室宜采用两路电源供电,末端自动切换。

④对电源要求较高的医技检验科、血液透析室、中心手术部、重症监护ICU等处的特别重要的负荷,在采取两路电源末端自动切换的供电方式后,再增设UPS不间断电源以确保供电质量和可靠性。

⑤电梯、消防设备应采用两路电源供电,末端自动切换。

⑥应急照明配电箱由双路电源供电并自动切换。

⑦洗衣房、营养部的动力等宜从变电所直接供电。

⑧冷水机组、大容量水泵等由配变电所放射供电。

⑨收治传染性非典型肺炎患者的医院的吸引、污水处理、焚烧炉、中心供应、太平间、检验化验等用电负荷均采用专线供电。

⑩收治传染性非典型肺炎患者的医院的通风负荷用专线供电,宜在护士站集中控制。

⑪X射线管电流400mA及以上规格的射线机,应采用专用回路供电。

⑫X射线机不应与其他电力负荷共用同一回路供电。

⑬多台单相、两相医用射线机,应接于不同的相线上,并宜做到三相负荷平衡。

⑭放射线设备的供电线路,应采用铜芯绝缘电线或电缆。

⑮放射科、核医学科、功能检查室等部门的医疗装备电源,应分别设置切断电源的总开关。

⑯如果X射线机需要设置为其配套电源开关箱时,则电源开关箱应设在便于操作处,但不得设在射线防护墙上。

⑰每个手术室应单独设置配电箱,容量不小于8kVA。

⑱传染病医院的配电线路按照不同感染区、隔离区、正常区等划分的区域设置配电回路,分设在不同区域内的设备由不同配电回路供电,采用放射式配电。配管线槽或桥架穿越隔墙处应密封处理,防止交叉感染。

### 4.4 接地系统

医疗及诊断电气设备,应根据使用功能要求采用保护接地、功能性接地、等电位接地或不接地等型式。

①医院接地系统宜采用TN-S及局部IT系统,不能采用TN-C-S或TN-C系统,因为TN-C-S或TN-C系统中PEN线在正常情况下可能带电,会引起病人的安全和妨碍医疗电子设备运行、数据处理、信号传输等。

②医院电气系统接地必须采用TN-S系统,PE线与N线严格分开。

③在电源突然中断后,有招致重大医疗危险的场所采用电力系统不接地(IT系统)的供电方式。心脏手术室、心血管造影、血液透析室、重症监护ICU、抢救室等采用IT系统。

④采用IT系统应设置绝缘监视装置,尽量减少系统容量,减少系统线路的长度,增加导线的绝缘等级,辅助以局部等电位联结。

⑤采用隔离变压器的构成IT系统,隔离变压器必须有过载和短路保护装置。

⑥使用插入体内接近心脏或直接插入心脏内的医疗电气设备的器械,应采取防止微电击保护措施。

⑦防微电击措施宜采用等电位联结方式,并使用Ⅱ类电气设备供电。还有特低电压供电等,详见特殊场所的电气安全内容。

⑧防微电击等电位联结,应包括室内给水管、金属窗框、病床的金属框架及患者有可能在2.5m范围以内直接或间接接触及的部分金属部件。用于上述部件进行等电位联结的保护线(或接地线)的电阻值,应使上述金属导体相互间的电位差限制在10mV以下。

⑨手术室及抢救室应根据需要采取防静电措施。

## 5 商、住楼供配电系统

### (1) 百货商店

大型百货商店(建筑面积大于15000m<sup>2</sup>)、中型百货商店(3000~15000m<sup>2</sup>)重要电力负荷级别见表5.2-1。高层民用建筑附设商店的电气负荷等级应与其相应的最高负荷等级相同;在商店建筑中,当有大量一级负荷时,其附属的锅炉房、空调机房等的电力及照明可为二级负荷;商店建筑中如设电话总机房,其交流电源负荷等级应与其电气设备之最高负荷等级相同。

### (2) 商店建筑应装设各类应急照明

备用照明不作为正常照明的一部分使用时,必须采用能

瞬时点燃的光源，其电源应有自动投入装置；如备用照明作为正常照明一部分使用时，其电源可不需装设自动投入装置，应将两者的配线及开关分开装设。值班照明宜利用正常照明中能单独控制的一部分，或备用照明的一部分或全部。

### (3) 旅馆建筑

据其使用功能，建筑质量标准和设备、设施条件，由高至低分为六个等级。一、二级旅馆建筑及三级高层旅馆建筑宜设应急发电机组，其发电机容量应能满足消防用电设备及应急照明的使用负荷。

一、二级旅馆建筑中，由于电压偏差过大而不能满足要

求时，宜采用有载自动调压变压器或采用其他调压措施。客房内宜设有分配电箱或专用照明支路。走道、门厅、餐厅、宴会厅、电梯厅等公共场所，应设供清扫设备使用的插座。插座回路（包括客房插座）宜设漏电保护开关。供移动电器使用时，应选用带接地孔的插座。

### (4) 住宅建筑

住宅建筑中的起居室、卧室、厨房、卫生间、客厅应各设2~4处电气插座。

饮食建筑中的厨房及饮食制作间的电源进线应留有一定余量。配电箱留有一定数量的备用回路及插座。

## 第6章 供、配电设计的原始资料

### 1 需向供电部门提供的资料

- 1) 最终规模的最大负荷、工程逐年建设情况和投产日期。
- 2) 负荷性质及对供电可靠性的要求。
- 3) 总变电所的系统主接线图和位置平面图(标有电源进线方向)。
- 4) 工程名称、地址。必要时提供显示新建工程位置的平面图。
- 5) 用户变配电所在总平面图上的位置、容量及其他应当说明的情况。
- 6) 对电源的电压、频率、供电线路形式、回路数、进线方向等要求。

### 2 需向供电部门索取的资料

- 1) 供电电源点(变电所或发电厂)名称、方位及距离。
- 2) 供电电压、线路规格、长度及回路数。
- 3) 本工程总变电所的受电端电力系统的最大和最小运行方式的短路数据(超瞬态短路电流  $I''$ , 0.2s 短路电流  $I_{0.2}$ , 稳态短路电流  $I_{\infty}$ , 短路冲击电流  $i_{ch}$  或短路容量、短路阻抗或出线断路器的开断电流)。
- 4) 电网中性点接地方式及电网系统单相接地电容电流值。
- 5) 供电端的继电保护方式(有无自动重合闸装置等)

及对用户受电端的继电保护设置和时限配合的要求。

- 6) 对功率因数的要求。
- 7) 对大型特殊用电负荷起动和运行方式的要求。
- 8) 电能计量要求(计费专用电能计量装置或专用电能计量柜的安装位置是在进线断路器之前还是之后)及电费收取办法(包括计算方法、奖罚规定、地区电价等)。
- 9) 对通信调度的要求及管理分工的意见。
- 10) 供电端电源母线电压在最大负荷和最小负荷时的电压偏差范围。
- 11) 基建时解决施工用电的途径。
- 12) 其他如防雷、接地、维护分工、转送负荷及集资办电贴费等。

### 3 需向建设单位了解的内容和索取的资料

- 1) 总变电所或总配电所的施工图设计委托单位。
- 2) 当地的雷电活动资料及土壤电阻率。
- 3) 改扩建工程需要原有的供配电系统图及平面布置图, 有关变配电所的平剖面图及主接线系统图, 近三年来的最大负荷、年耗电量、功率因数、受电电压等。
- 4) 若建设单位要求利用库存设备。应提供可利用设备的型号、规格及同设计安装有关的技术资料。
- 5) 向用电专业了解用电设备对供电的要求。允许中断供电的最长时间, 最好取得第一手资料, 评估超过允许中断供电时间产生的人身安全、经济上的后果。

# 第7章 导体选择

## 1 电线、电缆类型的选择

### 1.1 导体材料选择

1) 下列场合不应采用铝芯线缆:

①需要确保长期运行中连接可靠的回路,如重要电源、重要的操作回路及二次回路、电机的励磁回路等。

②移动设备的线路及振动场所的线路。

③对铝有腐蚀的环境。

④高温环境、潮湿环境、爆炸及火灾危险环境。

⑤应急系统及消防设施的线路。

⑥工业及市政工程、户外工程的布电线(分支配电线)。

2) 下列场合不宜采用铝芯电缆:

①非熟练人员容易接触的线路,如公共建筑与居住建筑。

②线芯截面  $6\text{mm}^2$  及以下的电缆。

3) 下列场合应采用铝导体:

①对铜有腐蚀而对铝腐蚀相对较轻的环境。

②氨压缩机房。

4) 下列场合宜采用铝导体:

①架空输电线路。

②较大截面的中频线路。

### 1.2 电缆芯数选择

1) 用于各种系统中的电缆芯数选择见表 5.7-1。

表 5.7-1 电缆芯数选择

电压 (kV)	系统制式	电缆芯数		说 明
		单芯	多芯	
35 交流	三相	3×1		当前国产 3 芯电缆的填充料质量不稳定,各厂家差异大,应慎用

表 5.7-2

电缆绝缘水平选择

单位: kV

系统标称电压 $U_n$		0.22/0.38	3		6		10		35	
电缆的额定电压 $U_N/U$	$U_N$ 第 I 类	0.6/1 (0.3/0.5) (0.45/0.75)	1.8/3		3/6		6/10		21/35	
	$U_N$ 第 II 类			3/3		6/6		8.7/10		26/35
缆芯之间的工频最高电压 $U_{max}$			3.6		7.2		12		42	
缆芯对地的雷电冲击耐受电压的峰值 $U_m$					60	75	75	95	200	250

注 括号内数值只能用于建筑物的电气线路,不包括建筑物电源进线。

1) 电缆设计用缆芯对地(与绝缘屏蔽层或金属护套之间)的额定电压  $U_N$ ,应满足所在电力系统中性点接地方式及其运行要求的水平。中性点非有效接地(包括中性点不接地、经消弧线圈接地、高电阻接地)系统中的单相接地故障持续时间在  $1\text{min} \sim 2\text{h}$  之间,必须选用第 II 类的  $U_N$ 。仅当系统中的单相接地故障能很快切除,中性点有效接地(直接接

续表

电压 (kV)	系统制式	电缆芯数		说 明
		单芯	多芯	
6~10 交流	三相	见本条(2)款	3 芯	
<1 交流	三相四线制 <sup>①</sup>	见本条(2)款	4 或 5 芯 <sup>②</sup>	TN-C 系统的 PEN 线应和相线在同一电缆内,即用 4 芯
	三相三线制 <sup>①</sup>	见本条(2)款	3 或 4 芯 <sup>②</sup>	
	单相两线制 <sup>①</sup>		3 芯	一般用 3 芯
	单相中频		2 或 4 芯	用 4 芯应为等截面
≤50V 交流	单相 SELV		2 芯	
≤1500V	直流		2 芯	

①指载流导体的系统制式,不包括 PE 线。

②采用电缆芯作 PE 线时的芯数。

2) 下列情况下宜采用单芯电缆组成电缆束替代多芯电缆:

①在水下、隧道或特殊的较长距离线路中,为避免或减少中间接头。

②沿电缆桥架敷设,为减小弯曲半径。

③负荷电流很大,采用两根电缆并联仍难以满足要求。

④采用矿物绝缘电缆。

⑤用于交流系统的单芯电缆应选用无金属护套和钢带铠装的类型。若必须铠装时,应采用经隔磁处理的钢丝铠装电缆。

### 1.3 电力、电缆绝缘水平选择

电缆绝缘水平的选择见表 5.7-2。

地和经低电阻接地)系统,在任何情况下故障持续时间不超过  $1\text{min}$  时,才可选用第 I 类的  $U_N$ 。

2) 电缆缆芯之间的额定电压  $U$  应等于或大于系统标称电压  $U_n$ 。

3) 电缆设计用缆芯之间的工频最高电压  $U_{max}$  应按等于或大于系统的最高工作电压选择。

4) 电缆设计用缆芯对地的雷电冲击耐受电压峰值  $U_m$  应按表 5.7-2 选取。

1.4 绝缘材料及护套选择

(1) 普通电缆选择

1) 聚氯乙烯 (PVC) 绝缘电线、电缆。

① 聚氯乙烯绝缘及护套电力电缆已经在很大范围内代替了油浸纸绝缘电缆、滴干绝缘和滴流浸渍纸绝缘电缆。尤其适宜在线路高差较大或敷设在桥架、槽盒内以及含有酸、碱等化学性腐蚀土质中直埋。

② 低于  $-15^{\circ}\text{C}$  的严寒地区应选用耐寒聚氯乙烯电缆。

③ 在未具备有效隔热措施的高温环境或日光经常强烈照射的场合, 宜选用相应的特种电线、电缆, 如耐热聚氯乙烯线缆。

④ 6kV 较重要回路电缆, 不宜用聚氯乙烯绝缘型。

⑤ 地下客运设施、地下商业区、高层建筑和特殊重要公共设施等人流较密集场所, 或者重要性质的厂房, 不宜采用聚氯乙烯绝缘或者护套型电缆。

⑥ 聚氯乙烯电缆不适用在含有苯及苯胺类、酮类、吡啶、甲醇、乙醇、乙醛等化学剂的土质中; 在含有三氯乙烯、三氯甲烷、四氯化碳、二硫化碳、醋酸酐、冰醋酸的环境中不宜采用。

2) 交联聚乙烯绝缘 (XLPE) 电线、电缆。

① 交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆已被广泛采用。

② 普通交联聚乙烯绝缘材料不含卤素, 因此, 它不具备阻燃性能。

③ 交联聚乙烯材料对紫外线照射较敏感, 因此通常采用聚氯乙烯作外护套材料。在露天环境下长期强烈阳光照射下的电缆应采取覆盖遮荫措施。

④ 交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆可敷设于水下, 但应具有高密度聚乙烯护套及防水层的构造。

3) 橡皮绝缘电力电缆。

① 橡皮绝缘电缆弯曲性能较好, 能够在严寒气候下敷设, 特别适用于水平高差大和垂直敷设的场合。

② 移动式电气设备的供电回路应采用橡皮绝缘橡皮护套软电缆 (简称橡套软电缆)。

③ 在可能经常被油浸泡的场所, 宜使用耐油型橡胶护套电缆。

④ 对于高温环境又有柔软性要求的回路, 宜选用乙丙橡胶绝缘电缆。

⑤ 采用氯磺化聚乙烯护套的乙丙橡皮绝缘电缆, 适用于要求阻燃的场所。

(2) 阻燃电缆选择

1) 阻燃电缆的阻燃等级。阻燃电线电缆分为 A、B、C、D 四级, 见表 5.7-3。

表 5.7-3 阻燃电缆分级表

级别	供火温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	供火时间 (min)	成束敷设电缆的非金属材料体积 ( $\text{L}/\text{m}$ )	焦化高度 (m)	自熄时间 (h)
A	$\geq 815$	40	$\geq 7$	$\leq 2.5$	$\leq 1$
B			$\geq 3.5$		
C		20	$\geq 1.5$		
D			$\geq 0.5$		

注 D 级标准仅适用于绝缘电线。

2) 阻燃电缆选择要点。

① 电线电缆成束敷设时, 应采用阻燃型电线电缆。确定阻燃等级时, 须核算电线电缆的非金属材料体积总量。并按表 5.7-3 确定阻燃等级。

当电缆在桥架内敷设时, 应考虑将来增加电缆时, 也能符合阻燃等级, 宜按近期敷设电缆的非金属材料体积预留 20% 余量。电线在槽盒内敷设时, 也宜按此原则来选择阻燃等级。

② 阻燃电缆必须注明阻燃等级。若不注明等级者, 一律视为 C 级。

③ 在同一通道中敷设的电缆, 应选用同一阻燃等级的电缆。阻燃和非阻燃电缆也不宜在同一通道内敷设。非同一设备的电力与控制电缆若在同一通道时, 亦宜互相隔离。

④ 直埋地电缆, 直埋入建筑孔洞或砌体的电缆及穿管敷设的电线电缆可选用普通型电线电缆。

⑤ 敷设在有盖槽盒、有盖板的电缆沟中的电缆, 若已采取封堵、阻水、隔离等防止延燃措施, 可降低一级阻燃要求。

⑥ 选用低烟低卤或无卤型电缆时, 应注意到这种电缆阻燃等级一般仅为 C 级。若要较高阻燃等级应选用隔氧层电缆或辐照交联聚烯烃绝缘, 聚烯烃护套特种电缆。

3) 耐火灾线、电缆选择。

① 耐火灾电缆按耐火特性分为 A 类和 B 类两种, 见表 5.7-4。

表 5.7-4 耐火灾电缆分类表

类别	耐火特性		
	受火温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	供火时间 (min)	技术指标
A	900~1000	90	3A 熔丝不熔断
B	750~800		

② 耐火灾线、电缆主要用于火灾时仍须保持正常运行线路。常用于以下场合:

- a. 消防泵、喷淋泵、消防电梯的供电线路及控制线路。
- b. 防火卷帘门、电动防火门、排烟系统风机、排烟阀、防火阀的供电控制线路。
- c. 消防报警系统的手动报警线路, 消防广播及电话线路。
- d. 高层建筑或机场、地铁等重要设施中的安保闭路电视线路。
- e. 集中供电的应急照明线路, 控制及保护电源线路。
- f. 计算机监控线路。

③ 矿物绝缘电缆主要使用场合如下:

- a. 核电站或核反应堆、电子加速器、 $\gamma$  射线探伤室及工业 X 光室等辐射较强的场合。
- b. 一、二类建筑消防负荷的干线, 重要消防设施 (如消防泵、喷淋泵、消防电梯、排烟风机、消防控制中心等) 的电源及控制线路宜采用矿物绝缘型耐火电缆。若采用有机类耐火电缆明敷则应用耐火电缆槽盒或穿管保护, 同时管子表面涂防火涂料。
- c. 明敷、需耐火同时要防水冲击及防重物坠落损伤的情况。

4) 耐火灾线、电缆选择要点。

① 耐火等级应根据一旦火灾时可能达到的火焰温度确定。通常油库或者电缆密集的隧道及电缆夹层内宜选择 A 类, 其他为 B 类。

当难以确定火焰温度时,也可根据建筑物或工程的重要性确定。特别重大的选A类,次要的选B类。

②火灾时,由于环境温度剧烈升高,而导致线芯电阻的增大,当火焰温度 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 时,导体电阻约增大 $3\sim 4$ 倍,此时仍应保证系统正常工作,须按此条件校验电压损失。

③耐火电缆亦应考虑自身在火灾时的机械强度。因此,明敷的耐火电缆截面积应不小于 $2.5\text{mm}^2$ 。

④应区分耐高温电缆与耐火电缆,前者只适用于高温环境。

⑤一般有机类的耐火电缆本身并不阻燃。若既需要耐火又要满足阻燃者,应采用阻燃耐火型电缆或矿物绝缘电缆。

⑥普通电缆及阻燃电缆敷设在耐火电缆槽盒内,并不一定能满足耐火的要求,设计选用时必须注意这一点。

5) 铠装及外护层选择。电缆外护层及铠装的选择见表5.7-5。外护层类型按GB/T 2952—1989划分。

表 5.7-5

各种电缆外护层级开装的使用敷设场合

护套或外护层	铠装	代号	敷设方式								环境条件						备注
			室内	电缆沟	电缆桥架	隧道	管道	竖井	埋地	水下	火灾危险	移动	多砾石	一般腐蚀	严重腐蚀	潮湿	
一般橡胶套	无		√	√	√	√	√					√		√		√	
不延燃橡胶套	无	F	√	√	√	√	√				√	√		√			耐油
聚氯乙烯护套	无	V	√	√	√	√	√		√		√	√		√	√	√	
聚乙烯护套	无	Y	√	√	√	√	√		√			√		√	√	√	矿物绝缘电缆
铜	无		√		√	√		√			√			√	√	√	
聚氯乙烯护套	钢带	22	√	√	√	√			√					√	√	√	
聚乙烯护套	钢带	23	√	√	√	√			√					√	√	√	
聚氯乙烯护套	细钢丝	32				√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	
聚乙烯护套	细钢丝	33				√	√	√	√	√	√			√	√	√	
聚氯乙烯护套	粗钢丝	42				√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	
聚乙烯护套	粗钢丝	43				√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	

注 1. “√”表示适用;无标记则不推荐采用。

2. 具有防水层的聚氯乙烯护套电缆可在水下敷设。

3. 如需要用于湿热带地区的防霉特种护层可在型号规格后加代号“TH”。

4. 单芯钢带铠装电缆不适用于交流线路。

①直埋地敷设。在土壤可能发生位移的地段,如流沙、回填土及大型建筑物、构筑物附近应选用能承受机械张力的钢丝铠装电缆,或采取预留长度、用板桩或排桩加固土壤等措施,以减少或消除因土壤位移而作用在电缆上的应力。

塑料电缆直埋地敷设时,当使用中可能承受较大压力或存在机械损伤危险时,应选用钢带铠装;不存在上述情况时,可不需带有铠装。

电缆金属套或铠装外面应具有塑料防腐外套,当位于盐碱、沼泽、或在含有腐蚀性的矿渣回填土时,应具有增强防护性的外护套。

②水下敷设。敷设于通航河道、激流河道或被冲刷河岸、海湾处宜采用钢丝铠装;在河滩宽度小于 $100\text{m}$ 、不通航的小河或沟渠底部、且河床或沟底稳定的场合可采用钢带铠装;但钢丝、钢带外面均须具有耐腐蚀的塑料或纤维外护层。对中压电缆一般需要有纵向和横向水密结构的护层。

③导管或排管中敷设。宜选用塑料外护套。

④空气中敷设。可能承受机械损伤或防鼠害、蚁害要求较高的场所,应采用铠装电缆,敷设于托盘、梯架、槽盒内。防白蚁型聚乙烯护套电缆、电缆,它的规格、电气性能、机械物理性能与普通型同类产品相同。无防鼠、蚁害要求时,可不需铠装。

在含有腐蚀性气体环境中,铠装应具有挤出外护套。在有放射线作用的场所(如医疗放射设备、X射线探伤机、粒子加速器以及用于核反应堆壳内的电力电缆),应采用氟丁橡胶、铜护套或其他耐辐射的外护套;高温场所应采用硅橡

胶类耐高温外护套或铜护套。

除架空绝缘电缆外,普通电缆用于户外时,宜有遮阳措施,如加罩、盖或穿管等。

6) 预分支电缆选择。预分支电缆规格可根据实际负荷大小来选择。干线电缆一般不大于 $185\text{mm}^2$ 为宜。预分支部分截面小于或等于干线电缆截面,但按机械强度考虑应不小于 $16\text{mm}^2$ 。预分支电缆有单芯和多芯(拧绞型)两类。在敷设条件不受限制的场所,宜优先采用单芯电缆。

预分支电缆可用于隧道和中高层建筑的电力及照明干线,也可用于工厂企业。

预分支电缆的缺点是一旦分支部位确定后,在现场不能变更位置尺寸,因此灵活性不如插接式线槽。

7) 母线的选择。

①矩形裸母线常用于低电压、大电流的场合,如电镀槽、电解槽的供电线路。

②母线槽适合于多层厂房、标准厂房或设备较密集的车间,对工艺变化周期短的车间尤为适宜,母线槽还大量用于高层民用建筑。

母线槽选择可从以下几方面进行:

a. 大电流母线槽推荐首选密集绝缘式。

b. 空气绝缘母线槽在大电流规格时,导体截面利用不够经济,使导体断面尺寸偏大。

c. 空气附加绝缘母线槽同于但优于空气绝缘母线槽。

d. 馈电式母线槽常用于发电机或变压器与配电屏的连接线路,或者配电屏之间的连接线路。

e. 插接式母线槽用来传输电能并可引出电源支路。



f. 滑接式母线槽常用于移动设备的供电,如行车、电动葫芦和生产线上。对于工艺变更周期短的生产车间,生产流水线或检测线,使用十分方便。

g. 表面喷涂钢板式母线槽单组母线载流量最大为 2500A,需要更大电流时,采用两组并联。主要适用于室内干燥环境,最高外壳防护等级可达 IP54~IP63。

h. 塑料外壳母线槽可适用于相对湿度 98% 的环境。外壳防护等级可达到 IP56。

i. 树脂浇注式塑料母线槽适用于腐蚀环境及高湿度环境。

j. 铝合金外壳母线槽单组母线的载流量可以做到 5 000A。当电流需要更大时,才需要并联。外壳防护等级可达 IP66。可适合在室内外应用,而且外壳可作为 PE 线使用。

③在火灾情况下的一定时间内仍然保持正常运行特性的母线槽应采用耐火型。

耐火型母线槽就结构上分类有两种。一种是外涂敷型耐火母线槽,另一种是内衬垫型耐火母线槽。

④按额定电压选择:分低压母线槽 380V、660V 及高压母线槽 3.6~35kV。

3.6~35kV 高压母线槽主要用于发电机出线及室内变电站。

⑤可采用大截面矿物绝缘电缆代替耐火母线槽。工作电流较大时,可采用多根矿物电缆并联使用。这不仅大大提高了耐火能力、减少接头,提高可靠性;而且可节约铜材 20% 以上,在经济方面也有较强的竞争力。

2 电线、电缆截面选择

2.1 电线、电缆截面选择的条件

1) 通过负载电流时,线芯温度不超过电线、电缆绝缘所允许的长期工作温度,简称按温升选择截面。

2) 经济寿命期内的总费用最少,即初始投资和经济寿命期内线路损耗费用之和最少,简称按经济电流选择。

3) 通过短路电流时,不超过所允许的短路强度。

4) 电压损失在允许范围内。

5) 满足机械强度的要求。

6) 低压电线、电缆应符合电击防护的要求。

7) 考虑谐波电流的影响。

2.2 按温升选择截面

1) 为保证电线、电缆的实际工作温度不超过允许值,电线、电缆在一定敷设条件及环境温度下的允许长期工作电流——载流量,不应小于线路的工作电流。

2) 电缆通过不同散热条件地段,其对应的缆芯工作温度会有差异,应按最恶劣散热条件地段(通常超过 5m)来选择截面。

3) 当负荷为断续工作或短时工作时,应折算成等效发热电流,按温升选择电线、电缆的截面积,或者按工作制校正电线、电缆载流量。

2.3 按经济电流选择截面

1) 当减少线芯截面时,初始投资减少,但线路损耗费用增大;反之增大线芯截面积时,线路损耗减少,但初始投资增加,某一截面区间内,二者之和(总费用即 TOC)最少,即为经济截面。

2) 按经济电流选择电线、电缆截面的方法,将减少 35%~42% 的线路损耗。

3) 一般情况下,按温升选择的截面与按经济电流确定的导体截面二者取较大者。

2.4 按电压损失校验截面

1) 配电设计中,按电压损失校验截面时,应使各种用电设备端电压符合电压偏差允许值详见本篇第 6 章。

2) 对于少数远离变电所的用电设备或者使用次数很少的用电设备等,其电压偏移的允许范围可适当放宽,以免过多地耗费投资。

3) 对于照明线路,一般按允许电压损失选择线、缆截面,并校验机械强度和允许载流量。可先求得计算电流和功率因数,用电流负荷矩法进行计算。

4) 选择耐火电缆应注意,因着火时线芯温度急剧升高导致电压损失增大,应按着火条件核算电压损失,以保证重要设备连续运行。

只要将按正常情况(即电压偏移允许值+5%~-5%)选择的电线、电缆截面放大一至两级就可以。原来选择 50mm<sup>2</sup> 及以下时,放大一级截面积;70mm<sup>2</sup> 及以上时放大两级截面积,通常就可以满足着火条件下的电压偏差不大于-10% 的条件。

2.5 按机械强度校验截面

按机械强度检验截面,见表 5.7-6。

表 5.7-6			按机械强度允许的最小截面		单位: mm <sup>2</sup>
用 途			导线最小允许截面积		
			铝	铜	铜芯软线
裸导线敷设于绝缘子上(低压架空线路)			16	10	
绝缘导线敷设于绝缘子上, 支点距离 $L$ (m)	室内	$L \leq 2$	2.5	1.0	
	室外	$L \leq 2$	2.5	1.5	
		$2 < L \leq 6$	4	2.5	
		$6 < L \leq 15$	6	4	
		$15 < L \leq 25$	10	6	
固定敷设护套线, 轧头直敷			2.5	1.0	
移动式用电设备用导线		生产用			1.0
		生活用			0.2
照明灯头引下线	工业建筑	屋 内	2.5	0.8	0.5
		屋 外	2.5	1.0	1.0
	民用建筑、室内		1.5	0.5	0.4
绝缘导线穿管			2.5	1.0	1.0
绝缘导线槽板敷设			2.5	1.0	
绝缘导线线槽敷设			2.5	1.0	

2.6 中性线(N)、保护接地线(PE)、保护接地中性线(PEN)的截面选择

1) 单相两线制电路中,无论相线截面大小,中性线截面都应和相线截面相同。

2) 三相四线制配电系统中,N 线的允许载流量不应小于线路中最大的不平衡负荷电流及谐波电流之和。当相线线芯不大于 16mm<sup>2</sup> (铜) 或 25mm<sup>2</sup> (铝) 时,中性线应选择

与相线相等的截面。当相线线芯大于  $16\text{mm}^2$  (铜) 或  $25\text{mm}^2$  (铝) 时, 若中性线电流较小可选择小于相线截面, 但不应小于相线截面的 50%, 且不小于  $16\text{mm}^2$  (铜) 或  $25\text{mm}^2$  (铝)。

3) 三相平衡系统中, 选择导线截面时, 应计入谐波电流的影响。

①当谐波电流较小时, 仍按相线电流选择导线截面, 但计算电流应按基波电流除以表 5.7-7 中的校正系数。

②当三次谐波电流超过 33% 时, 它所引起的中性线电流超过基波的相电流。此时, 应按中性线电流选择导线截面。计算电流同样要除以表 5.7-7 中的校正系数。

表 5.7-7 谐波电流的校正系数

相电流中三次谐波分量 (%)	校正系数	
	按相线电流选择截面	按中性线电流选择截面
0~15	1.0	
15~33	0.86	
33~45		0.86
>45		1.0

③当谐波电流大于 10% 时, 中性线的线芯截面积应不小于相线, 如以气体放电灯为主的照明线路、变频调速设备、计算机及直流电源设备等的供电线路。

4) PE 线截面选择, 通常可按表 5.7-8 选取。

表 5.7-8 PE、PEN 线截面选择表

相线截面积 ( $\text{mm}^2$ )	PE 线截面积 ( $\text{mm}^2$ )
$S \leq 16$	$S^{\text{D}}$
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S \leq 40$	$\geq S/2$
$400 < S \leq 800$	200
$S > 800$	$\geq S/4$

注 本表根据 IEC—439—1992 编制。

①当不是供电电缆线芯或外护层的组成部分时, 按机械强度选择, 通常有机械保护时  $\geq 2.5$ ; 无机械保护时  $\geq 4$ 。

5) 三相系统中 PEN 线截面选择。采用单芯导线作 PEN 线干线, 当截面为铜材时, 应不小于  $10\text{mm}^2$ ; 为铝材时, 应不小于  $16\text{mm}^2$ ; 采用多芯电缆的芯线作 PEN 线干线, 其截面积应不小于  $4\text{mm}^2$ 。

### 3 电线、电缆载流量

电线、电缆载流量的选择应遵循国家标准《建筑物电气装置第 5 部分: 电气设备的选择和安装 第 523 节: 布线系统载流量》(GB/T 16895.15—2002) 的要求。导体的载流量还取决于下列因素:

(1) 电线、电缆的材质

如线芯导电材料的损耗大小、绝缘材料的允许长期工作温度和允许短路温度。

(2) 敷设处的环境温度

环境温度系指电线、电缆无负荷时周围介质温度。在不同的环境温度下, 电线、电缆允许的载流量尚应乘以相应的校正系数。

(3) 敷设方式

布线系统载流量国家标准 GB/T 16895.15—2002 将电线、电缆的敷设方式划分为九大类。

(4) 土壤热阻系数

当选用交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆直埋地敷设时, 宜采用土壤热阻系数  $2.5 \sim 3.0\text{km/W}$  来修正电缆载流量, 以降低电缆表面温度, 否则应采用特殊回垫土换土处理。

(5) 多回路敷设时的载流量修正

当多回路敷设时应乘以修正系数, 如果某一回路的实际电流不超过 30% 的额定电流时, 在选择修正系数时, 此回路数可忽略不计。

(6) 电缆户外敷设

电缆户外敷设且无遮阳时, 载流量应乘以校正系数。

(7) 穿管敷设

1) 当电线、电缆穿管明敷在空气中或暗敷在墙内、楼板内、地坪下, 环境温度采用敷设地点的最热月平均最高温度。

2) 在管线多根并列时, 其载流量应乘以校正系数。

3) 对于备用或正常情况下实际电流小于 30% 额定载流量的管线, 可不必计入根数。

4) 对不载流或正常情况下载流很小的中性线, 可不计入电线根数。

(8) 电缆在电缆沟内敷设

1) 室内电缆沟或者室外电缆沟盖板上覆土厚度超过 30cm 以上者, 可不计阳光直射的影响。选择电缆截面时, 电缆沟内空气温度可按最热月的日最高温度平均值加  $5^\circ\text{C}$  来选择。

2) 室外电缆沟盖板上无覆土的情况, 应计入阳光直射使盖板发热而导致沟内气温上升的因素, 通常, 日照可使沟内平均气温升高  $2 \sim 5^\circ\text{C}$ 。

3) 采用电缆隧道敷设时, 须详细计算因电缆发热而引起的隧道内空气的升温。一般电缆隧道宜采用自然通风。在自然通风情况良好的电缆隧道内, 选择电缆截面时, 环境温度仍可采用最热月日最高温度平均值。

当电缆数量较多而且有一定数量的交联聚乙烯绝缘电缆时, 由于线芯工作温度达  $80 \sim 90^\circ\text{C}$ , 电缆外表的温度也接近  $60 \sim 70^\circ\text{C}$ , 会导致环境温度显著升高。当隧道内气温达到  $50^\circ\text{C}$  时, 须采取机械通风。此时, 选择电缆截面应根据隧道内的计算温度来确定载流量。

### 4 按经济电流选择电缆截面

1) 按经济条件及技术条件选择结果的比较: 通常按经济条件选择大于按技术条件选择的截面 1~2 级, 但有时也按热稳定等技术条件选择的截面大的情况, 因此应该同时满足技术条件和经济条件, 取二者截面较大者。简化设计程序时, 可按允许载流量所选的截面放大 1~2 级, 基本上能接近按经济条件所选择的结果。

2) 年最大负荷利用小时数越大, 经济电流值越小, 反之则越大。

3) 经济寿命变化时, 经济截面变化不大。

4) 年最大负荷利用小时数不同, 会直接影响经济截面大小。

5) 回收年限。由于按经济电流选择电缆截面时, 截面较大, 使初期投资增加, 根据计算一般 2~4 年即可收回投资。年最大负荷利用小时数越大, 回收年限越短。当超过回收年限之后, 因损耗减小每年可节约费用, 节约的数字逐年累计是十分可观的。

## 第8章 开关电器和保护电器的选用

### 1 低压电器选择的一般要求

工程设计所选用的低压电器，应符合国家现行的有关标准。

#### 1.1 按正常工作条件选择

1) 电器的额定电压应与所在回路的标称电压相适应，电器的额定频率应与所在回路的标称频率相适应。

2) 电器的额定电流不应小于所在回路的负荷计算电流。切断负荷电流的电器（如开关、隔离开关）应校验其断开电流。接通和断开起动尖峰电流的电器（如接触器）应校验其接通、分断能力和每小时操作的循环次数（操作频率）。

3) 保护电器还应按保护特性选择。

4) 低压电器的工作制通常分为8h工作制、不间断工作制、断续周期工作制、短时工作制及周期工作制等几种，应根据不同要求选择其技术参数。

5) 某些电器还应按有关的专门要求选择，如互感器应符合准确等级的要求。

#### 1.2 按短路工作条件选择

1) 可能通过短路电流的电器（如开关、隔离器、隔离开关、熔断器组合电器及接触器、起动器），应满足在短路条件下短时耐受电流的要求。

2) 断开短路电流的保护电器（如低压熔断器、低压断路器），应满足在短路条件下分断能力的要求。根据不同变压器容量和高压侧短路容量计算出保护电器出线位置的三相短路电流，以校验保护电器的分断能力。

#### 1.3 按使用环境条件选择

电器产品的选择应适应所在场所的环境条件，如多尘环境、化工腐蚀环境、高原地区、热带地区、火灾爆炸危险环境。

当环境温度超过电器的正常工作温度时，应考虑降容系数。

### 2 开关、隔离电器和接触器的选用

#### 2.1 隔离电器的选用原则

1) 当维护、检修和测试需要隔断电源时，配电线路应装设隔离电器。

2) 隔离电器应使所在回路与带电部分隔离。当隔离电器误操作会造成严重事故时，应有防止误操作的措施，如设联锁或加锁。

3) 隔离器、隔离开关（包括它们和熔断器组合电器）适宜作隔离电器。此外，以下电器或连接件也可作隔离用：熔断器、具有隔离功能的断路器、插头与插座、连接片、不需拆除的特殊端子。严禁用半导体电器作隔离用。

#### 2.2 开关电器的选用原则

1) 需要通、断电流的配电线路，应装设开关电器。

2) 宜选用开关、隔离开关（包括它们和熔断器组合电器）作通断电路用。已装设断路器、接触器等保护、控制电器的回路，一般不必再装设开关电器。

3) 选用开关或隔离开关，其额定工作电流应不小于该回路的计算电流。

4) 需要装设开关电器和隔离电器的配电干线，如建筑物的低压配电线路进线处、配电箱的进线处，应装设隔离开关，一个电器可满足开关和隔离两者功能；需要同时有开关、隔离及保护三者功能的线路，应装设隔离开关熔断器组或熔断器式隔离开关。

5) 四极开关的选用。

①为电气维修安全而装设四极开关。

a. TN-C系统内不允许装设四极开关。

b. TN-C-S和TN-S系统内不需为电气维修安全而装设四极开关。

c. TT系统内应为电气维修安全而装设四极开关。

d. IT系统内不必为电气维修安全而装设四极开关。

e. 在低压侧中性点直接接地的变电所内，如果实施等电位联结，则不论所供电的系统为TN-C-S系统、TN-S系统或TT系统，都不需为电气维修安全而装设四极开关。

②为实现正常功能而装设四极开关。

a. 负荷端带RCD功能的双电源转换开关，应装用四极开关以保证实现RCD功能。

b. 当引出中性线的IT系统电源用作TN系统或TT系统正常电源的备用电源时，其双电源转换开关应装用四极开关以保证实现IT系统供电的不间断性。

c. 变电所互为备用的变压器出线当采用大电流框架式断路器，其RCD由该断路器内四个小电流互感器组成，由于此RCD动作灵敏度不高——只起在发生接地故障时提高线路过电流防护灵敏度的作用，此方案不需选用四极开关。

d. 如果需要对变电所的双变压器进行倒换，而变压器又需装设灵敏度高的RCD，此时只需将RCD用电流互感器安装在变压器中性点与接地系统的连接线上，再通过一配套的继电器就可作用于跳闸或报警——起防接地电弧火灾的作用，亦不必装设四极开关。

#### 2.3 接触器和起动器选用原则

1) 接触器和起动器的使用类别，见表5.8-1。

表5.8-1 接触器和起动器使用类别及代号

电流	使用类别代号	典型用途举例
交流	AC—1	无感或微感负载、电阻炉
	AC—2	绕线式感应电动机的起动、分断
	AC—3	笼型异步电动机的起动、运转中分断
	AC—4	笼型异步电动机的起动、反接制动或反向运转、点动
	AC—5a	放电灯的通断
	AC—5b	白炽灯的通断

续表

电流	使用类别代号	典型用途举例
交流	AC—6a	变压器的通断
	AC—6b	电容器组的通断
	AC—7a	家用电器和类似用途的低感负载
	AC—7b	家用电动机负载
	AC—8a	具有手动复位过载脱扣器的密封制冷压缩机中的电动机控制
	AC—8b	具有自动复位过载脱扣器的密封制冷压缩机中的电动机控制
直流	DC—1	无感或微感负载、电阻炉
	DC—3	并励电动机的起动、反接制动或反向运转、点动、在动态中分断
	DC—5	串励电动机的起动、反接制动或反向运转、点动、在动态中分断
	DC—6	白炽灯的通断

直接起动器属于 AC—3、AC—4、AC—7b、AC—8a、AC—8b 中的一种或多种。

所有星—三角起动器和两级自耦减压起动器属于 AC—3 类别。

转子变阻式起动器属于 AC—2 类别。

2) 应根据负载特性和操作条件选择接触器的使用类别。

①用于控制笼型异步电动机，通常选用 AC—3 类别。

②用于控制需要点动、反向运转或反向制动条件下的电动机，应选用 AC—4 类别。

③用于控制电阻炉、照明灯、电容器等用电设备时，应相应选用 AC—1、AC—5a、AC—5b、AC—6b 类别。

3) 选取的接触器的操作频率应符合被控设备的运行使用要求。

4) 与短路保护电器 (SCPD) 的协调配合。接触器和起动器与 SCPD 的协调配合类型 (保护型式) 有两种：

①1 型协调配合。接触器或起动器在短路条件下可以损坏，但不应对周围人身和设备造成危害。在修理前，不能再使用。

②2 型协调配合。接触器或起动器在短路条件下不应周围人身和设备造成危害，且应能继续使用，但允许有容易分开的触头熔焊。

5) 不间断工作制的运行设备。应选取特殊设计的接触器，如用银或银基触头的产品，以避免触头过热；如选用 8h 工作制的接触器，应降低一级容量使用。

6) 笼型异步电动机用起动器。通常应带有过载继电器，作电动机过载保护；当接触器前或该段配电线路首端未装单独的保护电器时，宜选用带保护电器的综合起动器。

## 2.4 热继电器的选择

1) 交流三相电动机的断相保护应符合下列规定：

①连续运行的三相电动机，当采用熔断器保护时，应装设断相保护；当采用断路器保护时，宜装设断相保护；当低压断路器兼作电动机控制电器时，可不装设断相保护。

②短时工作或断续周期工作的电动机或额定功率不超过 3kW 的电动机，可不装设断相保护。

③断相保护器件宜采用断相保护热继电器，亦可采用温度保护或专用断相保护装置。

2) 热继电器的整定电流应可调，调整范围应不小于其

额定电流的 20%。

3) 热继电器和过载脱扣器在 7.2 倍整定电流下的动作时间，应大于电动机的起动时间。为此，应根据电动机的机械负载特性选择过载保护器件的脱扣级别，见表 5.8-2。

表 5.8-2 电动机用过载保护器件的脱扣级别和脱扣时间

脱扣 级别 (A)	以整定电流倍数表示的试验电流				适用范围
	1.05 <sup>①</sup>	1.2	1.5	7.2	
	冷态开始	热态	热态	冷态开始	
	脱扣时间 (t)				
10	2h 内不脱扣	<2h	<2min	2s<t≤10s	轻载起动
10	2h 内不脱扣	<2h	<4min	4s<t≤10s	一般负载
20	2h 内不脱扣	<2h	<8min	6s<t≤20s	重载起动
30	2h 内不脱扣	<2h	<12min	9s<t≤30s	特重载起动

①适用于有温度补偿的热继电器，电磁式和无温度补偿的热继电器为 1.0。

4) 热继电器的复位方式应根据防止电动机意外起动的原则而定：用按钮、自复式转换开关或类似的主令电器手动控制起停时，宜采用自动复位的热继电器。用自动触点以连续通电方式控制起停时，应采用手动复位的热继电器，但工艺有特殊要求者除外。

5) 电动机采用星—三角起动时，热继电器的可能装设位置有三个，如图 5.8-1 所示，其整定电流也不同：

①通常，热继电器与电动机绕组串联 (位置 1)，整定电流应为电动机额定电流乘  $1/\sqrt{3}$ 。这种配置能使电动机在星形起动时和三角形运行中都能受到保护。

②热继电器装在电源进线上 (位置 2)，整定电流应为电动机额定电流。由于线电流为相电流的  $\sqrt{3}$  倍，在星形起动过程中，热继电器的动作时间将延长 4~6 倍，故不能提供完全的保护，但能提供起动失败的保护。

③热继电器装在三角形电路中 (位置 3)，整定电流应为电动机额定电流乘  $1/\sqrt{3}$ 。在星形起动过程中，没有电流流过热继电器。这相当于解除了保护，可用于起动困难的情况。

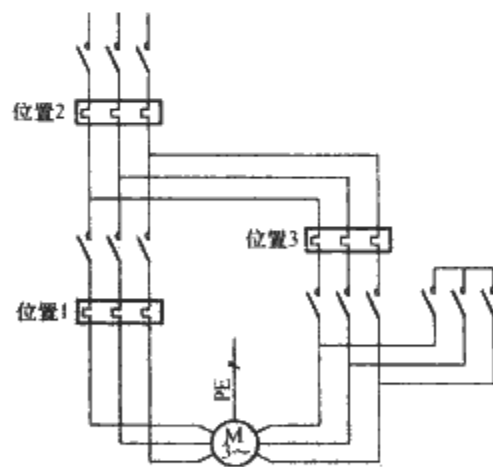


图 5.8-1 星—三角起动电路中热继电器的装设位置

## 3 保护电器的选用

### 3.1 低压熔断器

1) 熔断体额定电流的确定。熔断体额定电流的选择应保证在正常工作电流和用电设备起动时的尖峰电流下不误动作，并且在发生故障 (如过载、短路和接地故障) 时能适时熔断，以切断故障电路电流校验其切断时间。

① 按正常工作电流选择应符合下式要求

$$I_r \geq I_B \quad (5.8-1)$$

② 按用电设备起动时的尖峰电流选择。配电线路熔断体选择应符合下式要求

$$I_r \geq K_r [I_{rM1} + I_{B(n-1)}] \quad (5.8-2)$$

式中,  $I_r$  为熔断体的额定电流, A;  $I_B$  为线路的计算电流, A;  $I_{rM1}$  为线路中起动电流最大的一台电动机的额定电流, A;  $I_{B(n-1)}$  为除起动电流最大的一台电动机以外的线路计算电流, A;  $K_r$  为配电线路熔断体选择计算系数, 取决于最大一台电动机的起动状况, 最大一台电动机额定电流与线路计算电流的比值, 见表 5.8-3。

表 5.8-3  $K_r$  值

$I_{rM1}/I_B$	$\leq 0.25$	0.25~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8
$K_r$	1.0	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.3

③ 照明线路熔断体选择应符合下式要求

$$I_r \geq K_m I_B \quad (5.8-3)$$

式中,  $K_m$  为照明线路熔断体选择计算系数, 取决于电光源起动状况和熔断时间—电流特性, 其值见表 5.8-4。

表 5.8-4  $K_m$  值

熔断器型号	熔断体 额定电流 (A)	$K_m$		
		白炽灯、卤钨 灯、荧光灯	高压钠灯、 金属卤化物灯	荧光高压 汞灯
RL7、NT	$\leq 63$	1.0	1.2	1.1~1.5
RL6	$\leq 63$	1.0	1.5	1.3~1.7

④ 当线路发生故障时, 熔断体应保证在规定的时间内熔断, 以切断故障电路。因此, 熔断体电流值不能选得太大。

2) 按短路电流校验熔断器的分断能力。熔断器的分断能力应大于被保护线路预期三相短路电流有效值。

### 3.2 低压断路器

(1) 用作配电线路的低压断路器选择

1) 断路器额定电流的确定。断路器壳架等级额定电流 (指塑壳式或开启式中所能装的最大过电流脱扣器的额定电流)  $I_{rQ}$  和断路器额定反时限电流 (指过电流脱扣器额定电流)  $I_r$  的确定如下

$$I_{rQ} \geq I_r \quad (5.8-4)$$

$$I_r \geq I_B \quad (5.8-5)$$

式中,  $I_{rQ}$  为断路器壳架等级的额定电流;  $I_r$  为反时限过电流脱扣器的额定电流;  $I_B$  为线路的计算负载电流, A。

2) 瞬时过电流脱扣器的整定值 ( $I_{zd3}$ )

瞬时过电流脱扣器整定电流, 应躲过配电线路的尖峰电流, 即

$$I_{zd3} \geq K_{zd3} [I'_{qM1} + I_{B(n-1)}] \quad (5.8-6)$$

式中,  $K_{zd3}$  为低压断路器瞬时脱扣器可靠系数, 取 1.2;  $I'_{qM1}$  为线路中最大一台电动机全起动电流, A, 它包括了周期分量和非周期分量, 其值可取电动机起动电流  $I_{qM1}$  的 2~2.5 倍;  $I_{B(n-1)}$  为除起动电流最大的一台电动机以外的线路计算电流, A。

为满足被保护线路各级间选择性要求, 选择型低压断路器瞬时脱扣器电流整定值  $I_{zd3}$ , 还需躲过下一级开关所保护线路故障时的短路电流。

非选择型低压断路器瞬时脱扣器电流整定值, 只要躲过

回路正常工作时的尖峰电流即可, 而且应尽可能整定得小一些。

3) 定时限过电流脱扣器的整定值 ( $I_{zd2}$ )。定时限过电流脱扣器主要用于保证保护装置动作的选择性。

① 定时限过电流脱扣器整定电流, 应躲过短时间出现的负荷尖峰电流, 即

$$I_{zd2} \geq K_{zd2} [I_{qM1} + I_{B(n-1)}] \quad (5.8-7)$$

式中,  $I_{zd2}$  为低压断路器定时限过电流脱扣器可靠系数, 取 1.2;  $I_{qM1}$  为线路中最大一台电动机的起动电流, A;  $I_{B(n-1)}$  为除起动电流最大的一台电动机以外的线路计算负载电流, A。

② 定时限过电流脱扣器的整定时间通常有 0.1s (或 0.2s)、0.4s、0.6s、0.8s 等几种, 根据需要确定。其整定时间要比下级任一组熔断器可能出现的最大熔断时间大一个级量。上下级时间级差取 0.1~0.2s。

4) 反时限过电流脱扣器的整定值 ( $I_{zd1}$ )。反时限过电流脱扣器整定电流

$$I_{zd1} \geq I_B \quad (5.8-8)$$

$$I_{zd1} \leq I_z \quad (5.8-9)$$

式中,  $I_B$  为线路的计算负载电流, A;  $I_z$  为导体的允许持续载流量, A。

(2) 用作照明的低压断路器的过电流脱扣器的整定

反时限和瞬时过电流脱扣器整定电流分别为

$$I_{zd1} \geq K_{zd1} I_B \quad (5.8-10)$$

$$I_{zd3} \geq K_{zd3} I_B \quad (5.8-11)$$

式中,  $I_B$  为照明线路的计算电流, A;  $I_{zd1}$ 、 $I_{zd3}$  为反时限和瞬时过电流脱扣器可靠系数, 取决于电光源起动状况和低压断路器特性, 其值见表 5.8-5。

表 5.8-5 用作照明的断路器反时限和瞬时过电流脱扣器可靠系数

低压断路器种类	可靠 系数	白炽灯、 卤钨灯	荧光灯	高压钠灯、 金属卤 化物灯	荧光高 压汞灯
反时限过电流脱扣器	$K_{zd1}$	1.0	1.0	1.0	1.1
瞬时过电流脱扣器	$K_{zd3}$	10~12	4~7	4~7	4~7

(3) 按短路电流校验低压断路器的分断能力

断路器的额定运行短路分断能力  $I_{cn}$  应不小于被保护线路最大三相短路电流有效值。如有困难, 至少应保证断路器的额定极限短路分断能力  $I_{cu}$  不小于被保护线路最大三相短路电流有效值。

直流系统中, 必须使用合适的电路图来得到串联的断路器极数, 以保证各种不同工作电压要求的分断能力。

(4) 按短路电流校验低压断路器动作的灵敏性

为使低压断路器可靠切断接地故障电路, 必须按下式来校验断路器瞬时或定时限过电流脱扣器动作的灵敏性

$$I_{kmin} \geq K_i I_{zd3} \quad (5.8-12)$$

$$\text{或 } I_{kmin} \geq K_i I_{zd2} \quad (5.8-13)$$

式中,  $I_{kmin}$  为被保护线路末端接地故障电流, A;  $I_{zd3}$  为低压断路器瞬时过电流脱扣器的整定电流, A;  $I_{zd2}$  为低压断路器定时限过电流脱扣器的整定电流, A;  $K_i$  为低压断路器瞬时或定时限过电流脱扣器动作可靠系数, 按 GB 50054—1995 的规定, 取 1.3。

如果配电线路较长, 短路电流又较小, 低压断路器动作电流不能满足灵敏性要求时, 须采取有效的措施, 提高保护的灵敏度。



#### (5) 剩余电流动作保护器 (俗称漏电保护器)

剩余电流动作保护器能迅速断开接地故障电路,以防发生间接电击伤亡和引起火灾事故。

1) AC型、A型和B型剩余电流动作保护器不得混合串联使用,只允许同动作类别的剩余电流动作保护器串联使用。

2) 剩余电流动作保护器作用于切断电源时,为了保证供电的连续性,宜在各分支回路安装剩余电流动作保护器,代替在总进线上安装剩余电流动作保护器。

3) 动作功能与电源电压有关的剩余电流动作保护器除非在发生故障时,即使在辅助电源失效的情况下,接触电压及持续时间对人体产生危险或引起火灾时仍能自动切断电源,否则应采用动作功能与电源电压无关的剩余电流动作保护。

4) 剩余电流动作保护器应切断所保护回路的所有带电导体,包括TN-S(TN-C-S)系统中的N线导体。

5) 当采用不带过电流保护的剩余电流动作保护器(RCCB)时,该剩余电流动作保护器应能耐受安装处的预期短路电流。

短路故障的不平衡电流或接地故障的接地电流,虽使不带过电流保护的剩余电流动作保护器脱扣,但不致使该剩余电流动作保护器损坏。

6) 剩余电流动作保护器动作电流整定值要求如下:

①用于单台用电设备时,动作电流应不小于正常运行泄漏电流的4倍。

②配电线路的剩余电流动作保护器动作电流应不小于正常运行泄漏电流的3倍,同时还应满足其中泄漏电流最大的一台用电设备正常运行泄漏电流的3倍。

7) 当剩余电流动作保护器用于插座回路和末端配电线路,并侧重防间接电击时,则应选择动作电流不大于30mA的高灵敏度剩余电流动作保护器。该剩余电流动作保护器在其他保护措施失效时,作为防直接接触的补充保护措施,应选择带过电流保护的剩余电流动作保护器。

8) 用于接地故障电流大于300~500mA引起的火灾危险,剩余电流动作保护器作用于切断供电电源;剩余电流动作继电器或剩余电流动作报警装置作用于报警。

例如,对于住宅和中小型建筑,剩余电流动作保护器可安装在建筑物电源总进线上。为保证其动作灵敏度及与末端插座回路漏电保护器的选择性,该剩余电流动作保护器动作整定值最好不大于0.5A,并有0.4s或以上延时。该剩余电流动作保护器作为防电弧性接地故障引起的火灾是有效的。

9) 串联使用的剩余电流动作保护器的保护选择性,应满足以下条件:

①电源侧剩余电流动作保护器的额定剩余动作电流(整定值)应大于负载侧剩余电流动作保护器的额定剩余动作电流(整定值)的3倍。

②电源侧剩余电流动作保护器应选用S型(延时固定或可调),级间动作时间差不小于0.2s。

### 3.3 交流低压短路保护设备选型

#### 3.3.1 概述

短路保护设备多种多样,本章只介绍交流低压短路保护设备。

##### (1) 短路

配电系统不同相不经负载直接连接,称之为短路。由于

短路产生的过电流,通常是正常电流的几倍到几十倍。所以短路故障造成的危害最大,在电力线路和电气设备的保护中,短路保护是首选项目。三相交流系统中可能发生的短路故障主要有三相短路、两相短路、单相短路(包括单相接地故障)。

##### (2) 短路保护器的分类

短路保护器通常采用熔断器、断路器、综保继电器。

#### 3.3.2 熔断器

熔断器是由几个部件组成的装置。该装置用以当电流超过规定值足够长的时间,通过熔断一个或几个特殊设计和成比例的熔体分断此电流,由此断开其接入的电路。熔断器由熔断器支持件和熔断体组成。

熔断器工作原理是:当线路发生短路时,故障电流通过熔体,熔体被加热、熔化、汽化、断裂产生电弧。在电弧的高温作用下,熔体被迅速熔断,从而切断了故障电路。熔断器的特性与熔体材料的电阻率、熔点、封装型式、灭弧方法、通风条件有密切的关系。通常选用熔点低、电阻率大,用量少的材料制作熔断器,这样可以使热效应相对集中在熔断体上,减少误差、提高动作速度。熔断器是依靠热效应工作的,一般熔体的熔点都在几百度,熔断瞬间产生的电弧温度更高。熔断器熔丝正常工作温度接近百度,这个热量不能传导到外部接线端子上,否则将容易引起接线导体绝缘老化。动作时产生的电弧不应对其他部件造成损坏,所以熔断器的封装及散热亦十分重要。

熔断器作为短路保护电器具有分断电流能力高、限流性能好、结构简单、可靠性高、使用维护方便、价格低等优点,故在工业及民用场合得到广泛使用。

##### (1) 熔断器的分类

1) 按结构分。熔断器的结构型式与使用人员有关。分为:

①专职人员使用的熔断器(主要用于工业场所的熔断器)仅由专职人员可以接近并由专职人员更换的熔断器。主要有刀型触头熔断器、螺栓连接熔断器、圆筒形帽熔断器及偏置触刀熔断器。

②非熟练人员使用的熔断器(主要用于家用和类似用途的熔断器)。非熟练人员可以接近并能由非熟练人员更换的熔断器。

##### 2) 按分断范围分。

①“g”熔断体。在规定条件下,能分断使熔断体熔化的电流至额定分断能力之间的所有电流的限流熔断体(全范围分断)。

②“a”熔断体。在规定条件下,能分断示于熔断体熔断时间—电流特性曲线上的最小电流至额定分断能力之间的所有电流的熔断体(部分范围分断);“a”熔断体通常作短路保护用。

##### 3) 按使用类别分。

①“G”类。一般用途的熔断体。

②“M”类。保护电动机的熔断体。

③“D”类。延时熔断体。

④“N”非延时熔断体。

⑤“Tr”保护变压器的熔断体。

##### (2) 熔断器的特性

熔断器的特性包括熔断器支持件的特性和熔断体的特性。

熔断器支持件的特性包含的要素有:额定电压;额定电流;电流种类如额定频率;额定接受功率;尺寸或尺码;极



数；峰值耐受电流。

熔断体的特性包含的要素有：额定电压；额定电流；电流种类如额定频率；额定耗散功率；时间—电流特性；分断范围；额定分断能力；截断电流特性； $I^2t$ 特性；尺寸或尺码。

1) 额定电压。对于交流额定电压标准值以伏特 (V) 表示：系列 I 为 230、400、500、690，系列 II 为 120、208、240、277、415、480、600。

对于直流，额定电压 (V) 优选值为：110、125、220、250、440、460、500、600、750。

2) 额定电流。熔断体的额定电流以安培 (A) 表示应从下列数值中选用：2、4、6、8、10、12、16、20、25、32、40、50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250。

熔断器支持件的额定电流应从熔断体的额定电流系列中选取。对于“gG”和“gM”熔断器，熔断器支持件的额定电流以配用熔断体的最大额定电流表示。

3) 额定频率。如未作标明，额定频率仅在 45~62Hz 之间。

4) 额定功率。如未作标明，熔断体的额定耗散功率由制造厂规定。在规定的试验条件下，熔断体的额定耗散功率不应超过该规定值。熔断器支持件的额定接受功率是在规定的试验条件下，不超过规定的温升、熔断器支持件能承受的最大耗散功率。

5) 约定时间和约定电流。熔断体承载约定不熔断电流在约定时间内不应熔断。熔断体承载约定熔断电流在约定时间内应熔断。约定电流是检验熔断体与导线、电缆过负载配合的主要参数，详见表 5.8-6。

表 5.8-6 熔断体的约定时间和约定电流

“gG” 额定电流 $I_n$ “gM” 特性电流 $I_n$ (A)	约定时间 (h)	约定电流 (A)	
		$I_n$	$I_f$
$4.5 < I_n \leq 6$	1		
$6 < I_n \leq 10$	1		
$10 < I_n \leq 20$	2	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$
$20 < I_n \leq 50$	3		
$50 < I_n$	4		

6) 门限。门限是一极限值，熔断体时间—电流特性曲线应介于其间。熔断体在型式试验时以门限电流来验证时间—电流特性。

标准对“g”熔断器规定了  $I_{min}(10s)$ 、 $I_{max}(5s)$ 、 $I_{min}(0.1s)$ 、 $I_{max}(0.1s)$  4 个门限值，如图 5.8-2 中 A、B、C、

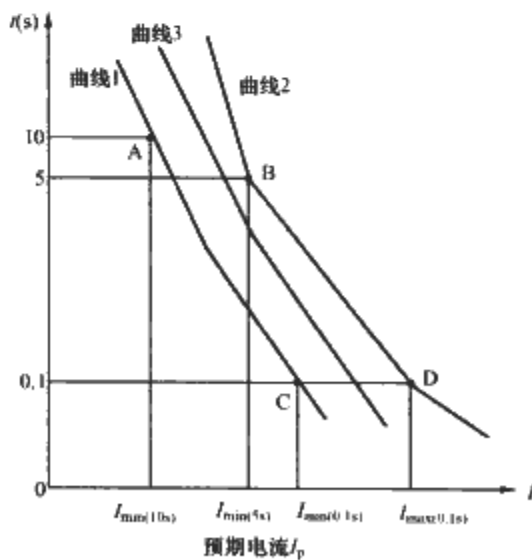


图 5.8-2 熔断器时间—电流特性及门限示意

D 点所示。 $I_{min}(10s)$  是弧前时间不小于 10s 的电流最小值，熔断体承载此电流时在 10s 内不熔断。 $I_{max}(5s)$  是熔断时间不大于 5s 的电流最大值，熔断体承载此电流时在 5s 内熔断。 $I_{min}(0.1s)$  是弧前时间不小于 0.1s 的电流最小值，熔断体承载此电流时在 0.1s 内不熔断。 $I_{max}(0.1s)$  是熔断时间不大于 0.1s 的电流最大值，熔断体承载此电流时在 0.1s 内熔断。国家标准 GB 13593.1--2002 对“gG”和“gM”熔断体门限的规定见表 5.8-7。

表 5.8-7 “gG”和“gM”熔断体规定弧前时间的门限值

$I_n$ 用于“gG” $I_{ch}$ 用于“gM” (A)	$I_{min}(10s)$ (A)	$I_{max}(5s)$ (A)	$I_{min}(0.1s)$ (A)	$I_{max}(0.1s)$ (A)
16	33	65	85	150
20	42	85	110	200
25	52	110	150	260
32	75	150	200	350
40	95	190	260	450
50	125	250	350	610
63	160	320	450	820
80	215	425	610	1100
100	290	580	820	1450
125	355	715	1100	1910
160	460	950	1450	2590
200	610	1250	1910	3420
250	750	1650	2590	4500
315	1050	2200	3420	6000
400	1420	2840	4500	8060
500	1780	3800	6000	10 600
630	2200	5100	8060	14 140
800	3060	7000	10 600	19 000
1000	4000	9500	14 140	24 000
1250	5000	13 000	19 000	35 000

注 1.  $I_{min}(10s)$  是弧前时间不少于 10s 的电流的最小值。

2.  $I_{max}(5s)$  是弧前时间不大于 5s 的电流的最大值。

7) 时间—电流特性、时间—电流带。在规定的熔断条件下，作为预期电流的函数的弧前时间或熔断时间曲线。如图 5.8-2 所示，时间—电流特性有：弧前时间—电流特性曲线 1 及熔断时间—电流特性曲线 2，最小弧前特性与最大熔断特性所包容的范围，即为时间—电流带。熔断体试验得出的弧前特性或熔断特性应在时间—电流带范围内，如图 5.8-2 中曲线 3 所示，产品标准应规定  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  时的时间—电流带，或提供弧前时间—电流特性曲线。特性曲线在电流方向的误差不应超过  $\pm 10\%$  或  $\pm 15\%$ ，视具体产品而定。

8)  $I^2t$  特性。当弧前时间大于 0.1s 时，熔断体过电流选择性可用弧前时间—电流特性来检验。但弧前时间小于 0.1s 时，在大的过电流作用下，熔断体的熔断时间通常只有几毫秒到几十毫秒。由于电弧的作用、非周期分量、电流波形等多种因素的影响，时间与电流的关系已不能用时间—电流特性来描述。则需用  $I^2t$  特性来检验。熔断体的  $I^2t$  特性是熔断体允许通过的  $I^2t$  值，用以衡量在故障时间内产生的热能。弧前  $I^2t$  是熔断器弧前时间内的焦耳积分；熔断  $I^2t$  是全熔断时间内的焦耳积分，是用以考核其过电流选择性、熔断器与断路器间的级间选择性配合的参数。要求产品

的弧前  $I^2t$  值不应小于规定值,熔断  $I^2t$  值不应大于规定值。国标 GB 13593.1—2002 对“gG”和“gM”熔断器规定了 0.01s 的弧前  $I^2t$  及熔断  $I^2t$  的极限值,见表 5.8-8。当上级熔断体的弧前  $I^2t_{\min}$  值大于或等于下级熔断体的  $I^2t_{\max}$  值时,可认为在弧前时间大于 0.01s 时熔断体间的选择性可以得到满足。

表 5.8-8 “gG”和“gM”熔断体 0.01s 的门限值

$I_n$ 用于“gG” $I_{ch}$ 用于“gM”	$I^2t_{\min}$ ( $\times 10^3 A^2 \cdot s$ )	$I^2t_{\max}$ ( $\times 10^3 A^2 \cdot s$ )
16	0.3	1.0
20	0.5	1.8
25	1.0	3.0
32	1.8	5.0
40	3.0	9.0
50	5.0	16.0
63	9.0	27.0
80	16.0	46.0
100	27.0	86.0
125	46.0	140.0
160	86.0	250.0
200	140.0	400.0
250	250.0	760.0
315	400.0	1300.0
400	760.0	2250.0
500	1300.0	3800.0
630	2250.0	7500.0
800	3800.0	13 600.0
1000	7840.0	25 000.0
1250	13 700.0	47 000.0

9) 过电流选择比。过电流选择比与熔断器的系列、额定电压和熔断器的使用有关;应根据熔断器的  $I^2t$  特性进行校验。对于“gG”和“gM”熔断器,当额定电流 16A 及以上时,上、下级熔断体的额定电流比为 1.6:1,具有选择性熔断,该比值即为过电流选择比。

10) 分断能力。在规定的使用和性能条件下,熔断体在规定电压下能够分断的预期电流值。对交流熔断器是指交流分量有效值。

11) 正常工作条件。工作条件通常指周围空气温度、海拔高度、大气条件。正常工作条件:周围空气温度不超过 40℃,24h 测得的平均值不超过 35℃,一年内测得的平均值低于该值,周围空气温度最低值-5℃。安装地点海拔高度不超过 2000m。空气是干净的,它的相对湿度在最高温度为 40℃时不超过 50%。

### (3) 熔断器选用的设计原则

选择熔断器应关注工作条件、安装条件、使用类别、电压、电流、频率、分断能力、选择性。

工作条件、安装条件、电压、频率相对比较固定,选择容易,不再多述。使用类别、电流、分断能力、选择性则根据线路、设备不同情况会有较大的变数,应重点注意。

1) 使用分类。通常用作短路保护的熔断器采用“a”熔断体。该类熔断器在过载电流范围内,动作不敏感,易于与其他保护元件协调配合。但在短路情况下,动作迅速可靠,

分断能力强。

2) 电流。根据电路计算电流选择熔断器额定电流。根据线路、负载特性和熔断器的电流—时间特性曲线校验能否满足短路动作时间的要求。

3) 分断能力。根据线路预期短路电流,选用熔断器的分断能力。熔断器的分断能力应大于被保护线路预期最大短路电流有效值。

4) 选择性。根据上、下级  $I^2t$  特性,校验系统的选择性。在正常的电气保护系统中,为防止故障造成大范围的停电,总希望靠近故障点最近的保护装置先行动作,切除故障。上一级保护作为下一级保护的后备保护,延缓动作。为做到这一点,通常下一级  $I^2t$  特性值一般小于上一级弧前  $I^2t$  特性值。也就是说,在同一短路电流的作用下,下一级保护达到使熔断器熔断的热效应所用的时间,要小于上一级保护的弧前时间(从电流突加到电弧产生,这一段时间称之为弧前时间)。

### (4) 熔断器的选型

我国目前生产的低压熔断器已系列化,标准化。有瓷插式、螺旋式、封闭式、填充料式、自复式等多种多样。

#### 1) 型号说明。

Rab—c/d

符号 a 代表: T—有填料封闭管式; L—螺旋式; S—快速; LS—螺旋式快速; M—无填料封闭管式; C—插入式。

符号 b 代表: 设计代号。

符号 c 代表: 熔断器、支持件额定电流。

符号 d 代表: 熔断体额定电流。

2) RT12 系列有填料封闭管式螺栓连接熔断器。RT12 系列熔断器适用于交流 50~60Hz、额定电压至 415V 的配电系统中,作为线路的过负载及系统的短路保护用。

它的结构型式为螺栓连接式。熔断器两端的触刀在使用中必须用螺栓与外部导体连接。熔断器带有熔断指示器,当熔断体熔断时红色小珠就弹出。熔断指示器有正面、侧面、背面三种位置可供选择。该系列熔断器为全范围分断的一般用途熔断器,代号为“gG”。额定电流 16A 以上的熔断体的过电流选择比为 2:1。

3) RT15 系列有填料封闭管式螺栓连接熔断器。RT15 系列熔断器适用于交流 50~60Hz、额定电压至 415V 的配电系统中,作为线路的过负载及系统的短路保护用。

它的结构型式为螺栓连接式。熔断器两端的触刀在使用中必须用螺栓与外部导体连接。熔断器带有熔断指示器,当熔断体熔断时红色小珠就弹出。熔断指示器有正面、侧面、背面三种位置可供选择。该系列熔断器为全范围分断的一般用途熔断器,代号为“gG”。额定电流 16A 以上的熔断体的过电流选择比为 1.6:1。

4) RT14 系列有填料封闭管式圆筒形帽熔断器。RT14 系列熔断器适用于交流 50~60Hz、额定电压至 380V 的配电系统中,作为线路的过负载及系统的短路保护用。

经直流 220V,分断电流 6kA 的试验验证,本系列熔断器在直流电路中保持特性稳定、分断可靠,可满足发电厂和变电所直流控制回路的保护需要。

熔断器有螺钉安装和轨道安装两种结构。熔断器分为带撞击器和不带撞击器两类。带撞击器的熔断体熔断时撞击器弹出,既可作熔断信号指示,又可触动微动开关以控制接触器等控制电器的线圈回路作三相电动机的断相保护。该系列熔断器为全范围分断的一般用途熔断器,代号为“gG”。额定电流 16A 以上的熔断体的过电流选择比为 2:1。

5) RT18 系列熔断器、RT18X 系列断相自动显示报警熔断器。该系列适用于交流 50Hz、额定电压为 380V 的配电系统中,作为线路的过负载及系统的短路保护用。

它是由圆筒形帽熔断体及支持件组成。RT18X 型的熔断体熔断后,在熔断器正面的红色指示灯自动点亮,发出信号。RT18 型熔断器则不带熔断信号装置。本系列熔断器可用 35mm 标准导轨安装,也可用螺钉(M4×16)安装。

6) RT19 系列有填料封闭管式圆筒形帽熔断器。该系列熔断器适用于交流 50Hz、额定电压至 380V 的配电系统中,作为线路的过负载及系统的短路保护用。

熔断器有螺钉安装和轨道安装两种结构。熔断器可带熔断撞击器。该系列熔断器分为“gG”及“gM”两种。

“gG”表示全范围分断的一般用途熔断器。

“gM”表示部分范围分断的保护电动机电路的熔断器。

7) NT、RT16、RT17 系列有填料封闭管式刀型触头熔断器。NT 系列熔断器是引进德国技术及生产许可制造的产品。NT00C 型、RT17 系列熔断器是以此为基础开发的产品。RT16 系列熔断器则为同类产品的国内型号。本系列熔断器适用于交流工频额定电压至 660V 的配电系统中,作为线路的过负载及系统的短路保护用。

该系列熔断器是由刀型触头的熔断体和楔形结构头的底座两部分以插入式结构组成。熔断体为可更换部分。当熔断体内的熔体熔断后,其端盖上的熔断指示器即弹出。

它的额定分断能力:NT、RT16 系列为 500V/120kA、600V/50kA,RT17 系列为 380V/100kA。熔断体的过电流选择比为 1.6:1。

8) RT20 系列有填料封闭管式刀型触头熔断器。RT20 系列熔断器适用于交流 50~60Hz、额定电压至 500V 的配电系统中,作为线路的过负载及系统的短路保护用。

它由熔断体和底座组成。熔断体为刀型触头结构,由变截面熔体、石英砂、高强度瓷管、镀银触刀和熔断指示器组成。

熔断器底座有多种结构型式,有 4 种尺码。00 号尺码有单极整体瓷底座和三极并列塑料底座,1~3 号尺码为单极瓷块-钢板组合结构,1 号尺码还有三极并列式底座。各种底座均可配用极间隔板,使底座可以密集安装以减少安装面积。熔断器可与国内、外同类产品互换。

其额定电压为交流 500V。它为全范围分断的一般用途熔断器,代号为“gG”。额定电流 16A 以上的熔断体的过电流选择比为 1.6:1。

9) RT30 系列圆管式熔断体。该系列熔断体适用于家用或类似场所的低压 200/380V 线路中,作为过负载和短路保护之用。常配用于 HG30 系列熔断器式隔离器和 HH30 系列开关熔断器组。

该系列熔断体由变截面熔体、石英砂和熔管等组成,在其一端可装熔断指示器。不同额定电流熔断体的尺码各不相同。当熔断器的底座或载熔件的尺寸设计成仅能装入对应尺码的熔断体时,就能达到熔断体的非互换功能,所以适用于由非专职人员操作使用的家用或类似场所。

RT30 系列熔断体的分断范围和使用类别为“gG”。额定电流 16A 及以上的熔断体在分断能力范围内具有 1.6:1 的过电流选择比。

10) FA4 型熔断体, FH、SF 型盒式熔断器。FA4 型熔断体为有填料封闭管式熔断体,符合英国标准 BS1362。其体积小可装在鸿雁牌插头、插座、盒式熔断器以及家用电器内,作为线路的过负载及短路保护之用。

FH—1、SF—2 型盒式熔断器内装 FA4 型熔断体。SH—2 型内熔断体支持件两端的触头可带负载接通、分断电路,故也称熔断器式开关。盒式熔断器可用于保护家用电器及住宅的电气线路。

11) RL6、FL7 系列螺旋式熔断器。本系列熔断器适用于交流 50~60Hz、额定电压至 500V (RL6 系列)、660V (RL7 系列) 的配电系统中,作为线路的过负载及系统的短路保护之用。

本系列熔断器由熔断体及支持件组成,支持件则是载熔件与底座的组合。带熔断体的载熔件通过螺纹旋入底座而固定。熔断体内有熔体并填以石英砂,其端面有熔断指示器。

12) NGT、RS□系列半导体器件保护用熔断器。NGT 系列熔断器是上海电器陶瓷厂引进德国 AEG 公司制造技术的产品,其额定电压为 380~1000V,额定电流为 630A 及以下。熔断器能可靠保护半导体器件(电力电子器件)及其成套装置的短路故障。

NGT-C、NGT-B 系列是 NGT 的派生产品,其技术性能和规格均与 NGT 系列相同。RS□系列是同类产品的国内型号。

NGT 系列熔断器为封闭管式,高强度瓷管内装纯银带熔体,并填充石英砂。不带熔断指示器,需要熔断指示及报警可并联 RX1—1000 型熔断信号器。

该系列熔断器可取代老产品 RS0、RS3 系列快速熔断器。

NGT、RS□系列熔断器的额定分断能力为 100kA。

13) RSF 系列半导体器件保护用熔断器。RSF 系列熔断器适用于交流 50Hz、额定电压至 1000V、额定电流至 2100A 的电路中,作为大功率整流二极管、晶闸管及其成套变流装置的短路和某些不允许的过负载保护之用。

RSF 系列熔断器由接触板(触刀)、瓷管、熔体、填料、底座、指示装置、连接板等组成。当熔断器熔断后,熔断器内的弹簧弹起指示器,指示器顶起底座的推杆推动微动开关,即可发出信号。

14) RLS2 系列螺旋式快速熔断器。该系列熔断器适用于频率 50Hz 或 60Hz、电压为 500V 及以下的电路中,作为半导体硅整流元件和晶闸管保护之用。

本系列熔断器主要有载熔件、熔断体和底座组成。带熔断体的载熔件通过螺纹旋入底座而固定。熔断体内装有一组变截面的银熔体,并充石英砂,其端面有熔断指示器。

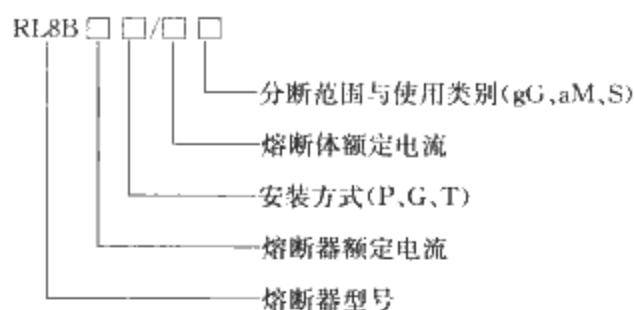
15) RX1—1000、RX2—1000 型熔断信号器。RX1—1000、RX2—1000 型熔断信号器适用于交流 50Hz、额定电压至 1000V 的熔断器,作为主熔断器的熔断指示及发出信号之用。

本熔断信号器主要由熔断体、底座、微动开关等组成,信号器直接并联于熔断器上。正常时流经熔断信号器熔断体的电流很小,当主熔断器熔断后其两端电压升高,熔断体的电流增加并立即熔断。通过弹簧推动顶杆,并使微动开关动作发出信号。

16) RL8B 系列模数化高分断能力螺旋式熔断器。RL8B 系列熔断器适用于交直流,额定电压 660V 及以下,额定电流 100A 及以下的配电、电控系统中,作过负荷保护与短路保护之用,其中“gG”为全范围分断能力,一般用途的熔断器;“gM”为部分范围分断能力,保护电动机电路的熔断器;S 为保护半导体元件的熔断器。

该系列采用高频瓷作熔体,更换安全方便,熔断指示直观;尺寸模数化,安装、接线方式多样化,可装于平板(P

型)、G型轨(G型)、TH轨(T型)、可接裸线、端头;体积小、功耗低、分断能力高,且具有防松动防振、防盐雾、防霉变等性能。型号说明:



17) RL8D系列螺旋式熔断器。RL8D系列熔断器适用于交流50Hz、额定电压380V、额定电流为2~100A的电路中做过负荷和短路保护。

它由熔断体和支持件所组成,熔断体有明显的熔断指示,支持件绝缘底座选用具有耐温(超过230℃)和阻燃性能的增强塑料制成,能安全、可靠地分断电路。

18) RSH系列快速熔断器。该系列熔断器是一种有填料限流式熔断器,主要用于半导体器件的短路故障保护,也可以作快速断路器使用,具有分断能力高、体积小和功耗低等特点。

①型号说明:



②型号举例:RSH5—2800P为额定电压为500V,额定电流为2800A,结构形式为P型的熔断器。

19) RSF系列半导体器件保护用熔断器。RSF系列熔断器适用于交流50Hz、额定电压250~1000V、额定电流30~5000A的电路中,作为整流二极管、晶闸管及其由半导体器件组成的成套变流装置的短路和某些不允许过电流的过负荷保护。

快速熔断器具有额定容量大、分断能力高、熔断速度快、限流特性显著、过电压低、分断 $I^2t$ 小、额定功率损耗低、体积小、安装方便、安全可靠以及熔断后指示可靠等特点。

20) RSG系列半导体器件保护用熔断器。RSG系列熔断器是在RSF系列熔断器的基础上开发的,高技术性、体积减小、额定容量增大的系列产品。

该系列熔断器适用于交流50Hz、额定电压250~2000V、额定电流10~7000A的电路中,作为整流二极管、晶闸管及其由半导体器件组成的成套装置的短路和某些不允许过电流设备的过负荷保护。

该系列熔断器具有额定容量大、分断能力高、熔断速度快、限流特性显著、安全可靠以及带有撞击器使熔断器熔断后迅速打开微动开关,指示明显、可靠等特点。

21) RST1系列半导体器件保护用熔断器。上海电器陶瓷厂引进德国AEG公司NGT型半导体器件保护用熔断器,额定电流最大规格为630A,已不能满足保护大功率晶闸管需要。为此研制了RST1系列半导体器件保护用熔断器,该系列熔断器作为大功率晶闸管及其成套装置短路保护之用。

22) RST3、RST4系列半导体器件保护用熔断器。

RST3、RST4系列半导体器件保护用熔断器用于交流50Hz、额定电压800V及以下、额定电流1200A及以下的大容量新型半导体整流电路,主要作为半导体元件及其所组成的成套装置的短路故障保护之用,也可广泛用于交流调压、调功中频、逆变电源等装置之中。

23) RST10系列半导体器件保护用熔断器。RST10系列半导体器件保护用熔断器适用于交流50Hz、额定电压660V,额定电流为200~1250A的电路中,作为半导体器件及其所组成的成套装置的短路保护之用。

24) RST11系列半导体器件保护用熔断器。RST11系列半导体器件保护用熔断器适用于交流50Hz、额定电压1000V及以下、额定电流2000A及以下的电路中,主要作为半导体器件及其所组成的成套装置的短路保护之用。

25) RST15系列半导体器件保护用熔断器。RST15系列半导体器件保护用熔断器适用于交流50Hz、额定电压1500V、额定电流为250~400A的电路中,作为半导体器件及其所组成的成套装置的短路保护之用。

26) RST16系列半导体器件保护用熔断器。RST16系列半导体器件保护用熔断器主要适用于交流50Hz、额定电压800V及以下、额定电流3600A及以下的电路中,作为整流二极管、晶闸管及其由半导体器件组成的成套整流装置的短路保护之用。

该产品尤其适用于电冶金和电化学用大容量电源的配套保护。

27) NH系列低压高分断能力熔断器。NH系列低压高分断能力熔断器是由NH熔断体和熔断器底座组成,应用NH熔断器插拔手柄可将NH熔断体插入或拔出NH熔断器底座。

该系列熔断器的使用类别为gL/gG(全范围的电缆和导线保护)。

该系列熔断器适用于工业及建筑领域。

NH系列熔断器有7个制造等级,额定电流从2~1250A,额定电压为AC500V、DC440V。该系列熔断器额定分断能力为120kA。

28) NH—低压熔断器。用户要求低压熔断器在网络中运行时工作可靠、高效和经济,随着技术的不断进步和提高,西霸公司的低压熔断器的遮断容量和质量都有了较大的提高,已能满足要求。

NH—低压熔断器中HRC低压熔断器是限流型的。保护装置的动热容量由预期短路电流( $I_s$ )的峰值来确定,与关合瞬间和短路的直流分量有关。适当地选用HRC熔断器的额定电流,不可能出现短路电流峰值,因为熔丝熔化时间大约5ms,直流分量的熔化时间为10ms。

按照VDE 0636要求,HRC熔断器用1.15倍的熔丝额定电流,成功地通过了200h长期过负荷试验而无老化现象。

HRC熔断器的电弧电压值是按VDE 0636/21确定的。

西霸公司生产的HRC低压熔断器规格如下:

AC400/500V为gL/gG标准型和绝缘金属移开型。

AC660/690V为gL/gG标准型和绝缘金属移开型。

AC660/69V为aM标准型。

AC400V为gTr保护变压器专用型。

AC500V为□—TY保护电缆专用型。

gL/gG型带有摇动指示器和辅助开关,还配套供应操作手柄和安全保护盖。

以上产品符合IEC 269—1/EN 60269—1、DIN VDE 0636/201、DIN VDE 0636/21、DIN VDE 43620标准。



### 3.3.3 低压断路器

交流低压配电系统的短路保护可以采用低压断路器实现。

#### (1) 低压断路器的定义

低压断路器是能接通、承载以及分断正常电路条件下的电流，也能在规定的非正常电路（例如短路）下接通、承载一定时间和分断电流的一种机械开关电器。

低压断路器的组成：低压断路器由本体、脱扣器、其他附件组成。

1) 本体：主触头、机械传动机构、储能机构、断路动作的执行元件。

2) 脱扣器：电流检测、动作控制元件。

3) 其他附件：辅助开关、指示器等。

这些部件可以组合在一个外壳内，亦可模块化配置或分开配置。

#### (2) 断路器的分类

断路器按使用类别可分为 A 类或 B 类。按分断介质可分为空气、真空、气体分断。按设计型式分为开启式、塑料外壳式。按操作机构的控制方法可分为有关人力操作、无关人力操作、有关动力操作、无关动力操作、储能操作。按是否适合隔离分为适合隔离、不适合隔离。按是否需要维修分为需要维修、不需要维修。按安装方式分为固定式、插入式、抽屉式。按防护等级分为 IP00~IP68。

#### (3) 断路器的特性

断路器的特性由以下项目表明：①断路器的型式；②主电路的额定值和极限值；③使用类别；④控制电路；⑤辅助电路；⑥脱扣器的型式；⑦带何种型式熔断器；⑧操作过电压。

其中与短路保护密切相关的特性是：主电路的额定值和极限值、使用类别、脱扣器的型式。

1) 额定电流。额定电流就是额定不间断电流，由制造厂规定的电器能在规定时间内承载的电流，并且等于约定自由空气发热电流。

2) 额定短路接通能力。在制造厂规定的额定工作电压、频率以及一定的功率因数或时间常数下，断路器的额定短路接通能力值，用最大预期峰值表示。对于交流，断路器的额定短路接通能力应不小于其额定极限短路能力乘以表 5.8-9 所列系数  $n$  的乘积。对于直流，断路器的额定短路接通能力应不小于其额定极限短路分断能力。额定短路接通能力表示断路器在对应于额定工作电压的适当外施电压下能够接通电流的额定能力。

表 5.8-9 交流断路器的短路接通和分断能力之间的比值

额定极限短路分断能力 $I_{cu}$ (kA)	功率因数	系数 $n$
$4.5 < I_{cu} < 6$	0.7	1.5
$6 < I_{cu} < 10$	0.5	1.7
$10 < I_{cu} < 20$	0.3	2.0
$20 < I_{cu} < 50$	0.25	2.1
$50 < I_{cu}$	0.2	2.2

3) 额定短路分断能力。断路器的额定短路分断能力是在制造厂规定的条件下，断路器的短路分断能力值。额定短路分断能力规定为额定极限短路分断能力 ( $I_{cu}$ )、额定运行短路分断能力 ( $I_{cs}$ )。

4) 额定极限短路分断能力 ( $I_{cu}$ )。额定极限短路分断能力是制造厂按相应的额定工作电压规定断路器（在规定的条件下）应能分断的极限短路分断能力值。它用预期分断电流 (kA) 表示（在交流情况下用交流分量有效值表示）。其试验操作顺序为 o—t—co。

5) 额定运行短路分断能力 ( $I_{cs}$ )。额定运行短路分断能力是制造厂按相应的额定工作电压规定断路器（在规定的条件下）应能分断的运行短路分断能力值。它用预期分断电流 (kA) 表示，相当于额定极限短路分断能力规定的百分数中的一档并化整到最接近的整数。它可用  $I_{cu}$  的百分数表示（如  $I_{cs} = 25\% I_{cu}$ ）。其试验操作顺序为 o—t—co—t—co。按规定的试验顺序试验后，断路器应能继续承载其额定电流的能力。

6) 额定短时耐受电流 ( $I_{cw}$ )。断路器的额定短时耐受电流，是制造厂在国家标准 GB 14048.2—2001 规定的条件下，对断路器确定的短时耐受电流值。对于交流，此电流为有效值。预期短路电流的交流分量在短延时时间内认为是恒定的，相应的短延时不应小于 0.05s，其优选值为 0.05s、0.1s、0.2s、0.5s、1.0s。额定短时耐受电流不应小于表 5.8-10 所示的相应值。其试验操作顺序为 o—t—co。

表 5.8-10 额定短时耐受电流最小值

额定电流 $I_r$ (A)	额定短时耐受电流 $I_{cw}$ 的最小值 (kA)
$I_r \leq 2500$	$12I_r$ 或 5kA 中取最大者
$I_r > 2500$	30

7) 使用类别。断路器的使用类别是根据在短路情况下是否通过人为延时实现选择性保护而规定，分为 A 类和 B 类。A 类在短路情况下无人为短延时，无额定短时耐受电流要求。B 类在短路情况下，选择性保护有人为短延时（可调节），有额定短延时耐受电流的要求。

8) 脱扣器。断路器主触点断开动作，是通过各种脱扣器实现的。脱扣器型式有分励、欠电压、过电流、其他脱扣器等。其中过电流脱扣器使用最为广泛，现重点介绍过电流脱扣器。

过电流脱扣器包括瞬时过电流脱扣器、定时限过电流脱扣器、反时限过电流脱扣器。

瞬时或定时限过电流脱扣器在达到电流整定值时应瞬时（固有动作时间）或在规定的时间内动作。其电流脱扣器整定值有  $\pm 10\%$  的准确度。

反时限过电流脱扣器的工作原理，是依靠热元件的热效应产生动作，从而触发断路器主触点断开。因此反时限过电流脱扣器的特性和熔断器一样，用时间—电流特性曲线来表示。制造厂应提供时间—电流特性曲线。通常基准温度下，电流达到整定值的 1.05 倍时，在小于约定时间内断路器不应发生动作。在约定时间结束后，电流达到整定值的 1.30 倍，断路器应在小于约定时间内脱扣。

脱扣器按工作原理分为电磁脱扣器、热脱扣器、电子脱扣器。

电磁脱扣器主要依靠电磁线圈在大电流的作用下，产生的电磁力推动相应的机构使主触头断开。通常电磁线圈串接在主回路中，用于短路保护，结构简单、动作可靠，误差较大。

热脱扣器主要是利用电流通过热元件产生的热效应工作。通常用具有不同热膨胀系数的双金属片组成，在电流产生的热效应作用下，双金属片弯曲变形产生位移，推动相应

的机构断开主触头。其主要用于过电流保护。

电子脱扣器是主回路电流信号通过电流互感器,采用电子技术进行处理,对电流的大小、过载、短路等情况进行判断分析,可实现过载报警、过载长延时、短延时、瞬动等多种保护。电子脱扣器控制精度高、功能多,发展较快。但需要控制电源,且由于采用了电子元件、微电子芯片,对抗干扰要求高,可靠性受到质疑。

#### (4) 断路器的短路保护设计原则

用断路器作短路保护需要关注的重点是:额定分断能力;瞬时电流整定值;上、下级断路器保护的有效性、配合的选择性。

1) 根据配电系统预期短路电流,选择断路器的分断能力。断路器额定短路分断能力应大于线路预期短路电流有效值。

2) 根据配电线路最大尖峰电流,选择瞬时电流整定值。瞬时电流整定值应躲过尖峰电流。

3) 根据上、下级保护器时间-电流特性曲线或 $I^2t$ 特性曲线,校验上、下级瞬时电流整定值。对于所有短路电流值,上级保护器动作时间,都晚于下级保护器动作时间称为全选择性配合。在一定的短路电流值范围内,下级保护器先动作,上级保护器后动作;而在超过该短路电流值时,上级保护器先动作,下级保护器后动作或不动作,称为局部选择性配合。通常全选择性配合是最理想的配合。为实现这一目标,采取措施:

①在上、下级保护器分断能力都够的情况下:一是上级保护的整定值大于下级,使上级保护器时间-电流特性曲线或 $I^2t$ 特性曲线处于下级保护器时间-电流特性曲线或 $I^2t$ 特性曲线之上;二是下级保护器带限流功能,上级保护整定值保证在限流值时的动作时间大于下级保护器动作时间;三是上级采用适当短延时而下级瞬动。

②在上级保护器分断能力够用,下级保护器分断能力不够的情况下:上级保护器采用带限流缓动功能,把短路电流控制在下级保护器的分断能力之内,由下级保护动作切除故障。目前有些厂家已经介绍了带限流缓动功能的断路器。

但要注意,国家标准 GB 14048—2001 定义:断路器的分断时间短的足以阻止短路电流达到其预期峰值前分断的断路器,称之为限流断路器。由此可知上级用限流断路器、下级用非限流断路器通常不具有全选择性配合。主要用于主、后备保护系统。防止下级保护器的分断能力不够,在大电流的作用下受到损坏,故由上一级分断能力大的保护装置先动作,切除故障。

上、下级保护配合的型式有断路器-断路器、断路器-熔断器、熔断器-断路器、熔断器-熔断器。设计人员根据线路、负载、投资等情况,酌情选择。

#### (5) 断路器的选型

断路器通常分为:微断、塑壳、框架式断路器。带有灭弧装置,能带负荷分合开关,能在故障情况下,分断额定极限短路分断电流。

微断体积小、重量轻,安装方便,但额定短路分断能力小,为6~15kA。额定电流一般不大于65A。通常使用在计算电流不大于65A末级场合。

塑壳式断路器,最大额定电流一般100~2000A,最大额定短路分断能力35~100kA。通常使用在计算电流不大于1500A,变电所低压屏的出线回路、车间主配电柜(箱)的进出线回路。

框架式断路器,体积大、部件敞露,散热好。需安装在

专门的间隔内,最大额定电流一般800~4000A,最大额定短路分断能力40~150kA。通常使用在计算电流大于1000A,变电所低压屏的进线回路。

1) C65 微型断路器(附 multi9 INT100 系列隔离开关)。本系列断路器为法国施耐德电气公司梅兰日兰品牌产品,其质量可靠,性能优良,在国内得到了广泛的应用。C65 微型断路器由塑料外壳、过电流脱扣装置、操作机构、触头及灭弧系统等主要部分组成。外壳采用高强度、高阻燃的塑料压制而成。适用于交流50Hz或60Hz,额定电压为230/400V及以下的系统中,作为照明和动力设备的过负荷、短路保护,以及接通或断开不频繁起动的线路及设备。

本系列断路器为限流型断路器,外壳防护等级IP20,2类抗湿热性,机械寿命不小于20 000次通断,安装在DIN用导轨上。

2) DX 系列小型塑料外壳式断路器。本系列断路器是法国罗格郎公司在法国研制并生产的原装进口产品,适用于工业和民用建筑,交流50Hz或60Hz,额定电压为230/400V及以下电路中,作为照明和动力设备的过负荷、短路保护,以及不频繁接通、断开线路或设备。

本系列断路器由塑料外壳、操作机构、触头、灭弧系统及过电流脱扣器等组成。其外壳采用高强度、高阻燃的塑料压制。

断路器操作机构设计独特,操作轻便,保证了断路器的机械寿命。脱扣器由联动杆相连,保证了各极通断的一致性。四极断路器的中性极具有比其他极先合后断的功能。

DX 系列小型断路器的脱扣机构由热脱扣和电磁脱扣两部分组成。断路器的触头及灭弧系统具有限流特性及分断能力,在发生短路时通过的短路能量( $I^2t$ )低,合理的引弧路径促进了电弧向灭弧室运动的速度,含有13片金属栅片的灭弧室可使电弧快速熄灭。

断路器整体防护等级为IP20。尺寸模块化,每个模块为17.5mm,可以安装在标准导轨上。

3) S2、S900 系列及 S500 系列微型断路器(附 E240 及 E270 系列隔离开关)。

① S2 系列。S2 系列微型断路器为 ABB 公司 20 世纪 90 年代进入市场的限流型产品,用于住宅、商业及一般工业用途的终端配电线路的过电流保护,其在国内推广销售的产品包括 S20、S270、S280 等系列。

S2 系列微型断路器由热固材料压制成的外壳、操作机构、触头、灭弧系统及过电流脱扣器等组成,具有限流特性和高分断能力,在发生短路时通过的短路能量( $I^2t$ )低。

S2 系列断路器下部采用两用端子,能同时连接电缆和铜排,不需任何附件,接线端子可接截面为0.75~25mm<sup>2</sup>的导线;当和铜排一起使用时,最大截面软线为10mm<sup>2</sup>,单芯导线为16mm<sup>2</sup>。

S2 系列断路器可容易地安装在35mm<sup>2</sup>导轨上。

S2 系列断路器在闭合和断开位置时可通过附件被锁定。断路器上下接线均可进线,分断能力不变。

② S900 系列。S900 系列断路器是 ABB 公司最新投入中国市场的单模数 SPN 微型断路器,它在满足微型断路器诸多特点的同时,增加中性线开断设计,确保符合国际 IEC 组织和中国有关产品标准中关于“可开闭中性极应比保护极先闭合后开断”的电气隔离要求。

S900 系列微型断路器具有以下特点:

符合 IEC60364 要求,能提供防触电保护;同时分断相线及中性线;最大接线截面为16mm<sup>2</sup>;可靠的结构设计;



最佳的经济性能比；配有多种功能附件。

③ S500 系列。随着对电能的需求，导致短路电流越来越大，这迫切要求开发更安全、可靠和通断能力更高的保护开关设备。S500 系列高分断小型断路器的技术特点满足了这些要求。该断路器装有热脱扣器和电磁式脱扣器，对线路、电动机、开关设备和系统进行过负荷和短路电流的保护，并且 S500 系列的高分断容量为 50kVA、400V 交流，其快速分断时间小于 2ms，为 S500 系列断路器的上级和下级过电流保护装置可灵活选择。

S2、S900、S500 系列断路器型号举例：

S251S C16—单极，C 特性（照明），16A；

S941NC20—1+NA，C 特性，20A；

S503K15—三极，K 特性（电机保护），15A。

4) HH、HN、HE 系列塑料外壳式断路器。本系列断路器是海格公司产品，适用于交流 50Hz 额定电压 380V 及以下，直流 250V 及以下的配电线路中，作为分配电能和线路及电源设备的过负荷、短路保护，以及在正常工作条件下作为线路的不频繁操作。

本系列断路器符合相应的 IEC 947—2 标准，由于采用高斥力的触头机构及相应的先进的灭弧技术，因而具有限流作用。在操作结构上，具有自由脱扣特点，因而使断路器在短路时触头不能保持闭合，由过负荷或短路导致的脱扣可由手柄位置清楚表示。断路器安装在高强度玻璃聚酯纤维外壳内。

本系列断路器安装有热磁脱扣器，可提供断路器的反时限和瞬时脱扣保护特性。另外本系列断路器还可根据需要加装分励脱扣器、欠电压脱扣器、辅助触点及报警触点等电器附件。

5) CM1E 系列电子可调式塑料外壳式断路器。CM1E 系列断路器是江苏常熟开关厂设计制造的新一代电子式断路器，适用于交流 50Hz、额定工作电压 400V 及以下，额定工作电流 800A 及以下的线路中作不频繁转换及电动机不频繁起动。断路器具有过载长延时反时限、短路短延时反时限、短路短延时定时限、短路瞬时和欠电压保护功能，能保护线路和电源设备不受损坏。断路器可垂直安装（即竖装），亦可水平安装（即横装）。

本系列断路器是机电一体化电器产品，由绝缘外壳、操作机构、触头系统、灭弧系统和电子式脱扣器等部分组成，具有快速闭合、断开和多种脱扣功能。

本系列断路器有 5 种脱扣特性，用户可根据负荷电流要求对电子脱扣器进行设置调整。

具有预报警指示：当负荷电流超出预设电流时，断路器面板上的发光二极管指示为黄色。

具有过负荷指示：当负荷电流超出整定电流时，断路器面板上的发光二极管指示为红色。

6) Compact NS 系列塑壳断路器。Compact NS 系列塑壳断路器是法国施耐德电气公司 20 世纪 90 年代中期推出德新型低压塑壳断路器，1990 年施耐德公司在我国设立合资企业——施耐德（北京）低压电器有限公司。

Compact NS 系列塑壳断路器采用双旋转分断技术，较大地提高了分断能力及限流作用，且采用独立封闭式单元，灭弧效果十分明显。Compact NS 系列塑壳断路器采用了压力跳闸系统，利用故障电流本身产生的能量驱动内部压力跳闸系统，故障电流越大，跳闸速度越快。由于 Compact NS 系列能限制短路电流的同时，又减少故障切断时间，从而降低了故障电流对设备和线路的危害。

Compact NS 系列塑壳断路器包括 NS100～NS630 及 C80～C1251 系列，此次仅编入 NS100～NS630 系列产品（根据 Compact NS 系列塑壳断路器选型表）。该型断路器适用于交流 1000V 及以下和直流 500V 及以下系统中，可为 1、2、3、4 极。断路器有固定式、插入式和抽出式，固定式断路器可以水平、垂直和横向安装，不会降低性能；插入式断路器的插入式底座，适用面板或导轨安装；抽出式断路器安装在底板上或导轨上。

断路器的分断能力分为 N（标准型 380/415V 时 25～45kA）、H（高性能型，380/415V 时 70kA）、L（极高性能型 380/415V 时 150kA），达到较高的分断能力水平。

Compact NS 系列断路器的脱扣器模块化，可以根据不同需要，配用不同的脱扣器，对设备或系统进行保护，如低压配电、发电机、长电缆、电动机、直流电网以及特殊用途等。脱扣器有热磁型（TM）、电磁型（MA）、电子型（STR22SE、STR23SE、STR22ME、STR43ME）及通用电子型（STR53UE）。

Compact NS 系列断路器 NS100～NS630 系列的辅助开关只有一种模块，提供开/关（OF）、脱扣指示（SD）、故障显示（SDE）、Vigi 接地故障显示（SDV）四种功能。Vigi 接地故障模块直接安装在断路器出线端子上，但不影响断路器的其他工作特性。电动机构可装于断路器的前面板上，远方分闸、合闸或复位功能可以通过 2～3 个脉冲型或自保持型信号实现。如果需要，可以通过前面板就地操作。

Compact NS 系列塑壳断路器符合 IEC 947—1、2、3、4、5 和 EN 60947—1、2 标准。断路器具有抗湿热、抗干热、抗盐雾和抗低温措施。使用环境温度 -25℃～70℃，高于 40℃（电动机高于 60℃）时应考虑降容使用。

7) NZM 系列塑壳断路器。NZM 系列塑壳断路器共有 NZM7、NZM10、NZM14 三种规格，其额定电流为 25～1600A，适用于设备保护，电动机保护，人身保护及发电机保护等领域，见表 11.5-73。此断路器除基本的过负荷和短路保护功能外，还具有主触头状态可视、额定电流及短路电流可调，保护功能多样，附件安装使用方便灵活等特性。可以从断路器上端或下端进线，安装位置灵活，开关可以在任意方向翻转 90°安装（NZM14 型在向前翻 90°时降容 10%）。

本系列断路器如不装脱扣器可作负荷隔离开关使用，其大小与断路器相同。

本系列断路器额定工作电压为 690V，工作环境温度 -25℃～40℃（NZM14 型为 -5℃～45℃）。NZM 系列断路器应用范围见表 11.5-74。

8) Masterpact MT 系列塑壳断路器。本系列断路器是由法国施耐德电气公司历时 8 年开发完成的最新一代产品。继 Masterpact M 开关之后，再次确立了大电流空气断路器的新标准。上海施耐德配电电器有限公司全套引进法国施耐德电气公司的技术，设备与管理，与全球同步生产 MT 系列断路器。

MT 系列断路器除了具有传统断路器特点之外（抽出式、选择性和低维护性），又具有体积优化，内置通信和测量功能。MT 系列断路器采用最新技术，增强了产品性能和安全性。它是容易安装、用户界面友好（控制单元全中文菜单）、操作方便、设计容易、注重环保的划时代产品。MT 系列断路器用于保护和控制低压配电网络，可以安装在电网低压配电柜中（进线单元，一次侧及二次侧出线部分），适用于交流 50～60Hz，额定工作电压为 690V 及以下配电系

统。本系列断路器还可为特殊应用而设计,为400Hz电源、交流1000V装置、负荷开关、直流断路器等。MT系列断路器具有多种选择性:3极或4极断路器、固定式或抽屉式、多种分断能力和多种控制单元。MT系列断路器具有最高的安全可靠、零飞弧、模块化、零部件较一般断路器大为减少、免维护、电气免维护寿命高达1万次,附件可在现场安装,无需任何调整,可以上进线或下进线,前面板双重绝缘保护,确实分断指示,冲击耐受电压12kV,具有隔离功能,符合IEC 60947-2标准,二次控制回路与主回路完全隔离,完全抗湿热处理。

9) BMZ系列塑料外壳式直流断路器。BMZ系列塑料外壳式直流断路器适用于DC 250~440V、额定电流3~200A的线路中,用来对电气设备和线路进行过电流保护,也可作线路的不频繁转换。

断路器短路分断能力分为普通型(S)、标准型(M)及较高型(H)。

断路器电流脱扣方式分为长延时脱扣(100)、瞬时脱扣(200)及复式脱扣(300)。

断路器为手柄直接操作。壳架等级电流为100A以上的断路器还具有正面手柄旋转操作及电动操作。

10) BMM1系列塑料外壳式断路器。BMM1系列塑料外壳式断路器(以下简称断路器),适用于交流50Hz、额定电压690V及以下、额定电流10~800A的电网中,一般作配电,400A及以下的C、L、M型断路器亦可作电动机保护之用。在正常情况下,断路器可分别作为线路的不频繁转换及电动机的不频繁启动之用。

配电用断路器在配电网络中用来分配电能,且作线路和电源设备的过负荷、短路和欠电压保护。

保护电动机用的断路器,在400V配电网络中用作笼型异步电动机的启动和运行中分断,且作为电动机的过负荷、短路和欠电压保护。

断路器一般为垂直安装,也可横装即水平安装。

断路器接线方式有板前接线、板后接线及插入式接线。

断路器的极数有三极四极,四极产品的中性极(N极)的型式分为以下几种:

A型为N极不装过电流脱扣器,N极始终接通,不与其他三极一起合分;

B型为N极不装过电流脱扣器,N极与其他三极一起合分;

C型为N极装过电流脱扣器,N极与其他三极一起合分;

D型为N极装过电流脱扣器,N极始终接通,不与其他三极一起合分。

11) SB、GM系列塑料外壳式断路器。SB系列塑料外壳式断路器(以下简称断路器),适用于交流50Hz、60Hz、额定绝缘电压690V、额定电压690V、直流电压220V或440V、额定电流10~2000A的低压电网中,一般作配电用,额定电流400A及以下的断路器亦可作电动机保护之用。在正常情况下,断路器可分别作为线路的不频繁转换及电动机的不频繁启动之用。

配电用断路器在配电网络中用来分配电能,且作线路及电源设备的过负荷、短路和欠电压保护。保护电动机用的断路器,用作笼型异步电动机的启动和运行中分断,且作为电动机的过负荷、短路和欠电压保护。GM系列断路器还可作变压器、发电机和线路保护之用。

断路器具有体积小、通断能力高、无飞弧、抗振动、符

合“三防”(防潮、防烟雾、防霉菌)要求,附件齐全,适用范围广等优点,在附件中发展了抽出式结构,为开关柜发展固定分隔法结构创造了条件。GM系列断路器还增加了隔离功能。

断路器可垂直(竖装)安装、亦可水平(横装)安装。横装和下进线不降低容量。

12) TM30系列塑料外壳式断路器。该系列塑料外壳式断路器,适用于交流50Hz、额定绝缘电压800V,额定工作电压690V及以下、额定工作电流16~2000A的电路中,作电缆、变压器、发电机、电动机等的过负荷、短路、接地和欠电压保护,以及不频繁转换和不频繁启动、分断电动机之用。具有两段非选择性和三段选择性(225A以上)保护。

该系列塑料外壳式断路器充分利用斥力限流技术,在进行极限分断能力时,大大降低了分断的实际电流,这样可以减轻故障电流对断路器本身的破坏,从而保护了下方的电路和开关设备。TM30系列中的U型产品,限流特性很高、限流系数很小,能降低温度、减少电缆的热效应,降低电动势对母线的作用力。

该系列塑壳断路器可以水平安装或垂直安装,不会降低使用性能,可以安装在板材上,也可安装在型材上。

该系列塑壳断路器的接线形式为模块化,有固定式板前接线、固定式基本型板后接线(HS)、固定式加强型板后接线(HQ)、插入式接线圆型端子(RY:TM30-100W、225W型可选)、插入式接线扁型端子(RB:TM30-100W、225W、400W、800W型可选)、抽屉式接线(TM30-630W、800W、1250W、1600W、2000W型可选)。

13) SBZ系列智能化断路器。该系列智能化断路器是SB系列塑料外壳式断路器的派生产品,该系列断路器适用于交流50Hz或60Hz额定绝缘电压690V、额定电压690V、直流电压220V或440V、额定电流10~800A的低压电网中,一般作配电用,壳架电流400A及以下的断路器也可作保护电动机之用。

该系列智能化断路器配备了智能化脱扣器,增加了额定电流的选择档次,增加了四种用途类型保护曲线的选择、主回路电流负载率指示以及自诊断、热记忆等功能。特别是在具备了现场总线的通信功能后,尚能与工控计算机或控制器联网通信。实现配电网的计算机控制后,使SBZ系列的控制功能大为增加,如遥测、遥调、遥控,分断后的热记忆、负荷监控、电流显示、故障参数的数据传送,以及辅助功能的计算机遥控化。

该系列断路器可加装欠电压脱扣器、分励脱扣器、辅助触点、报警触点、电动操动机构及旋转操作手柄机构等。

14) IsomaxS系列塑壳断路器。ABB公司IsomaxS系列塑壳断路器的框架电流为125~3200A,额定工作电压AC500V(S1)或690V、DC250V(S1)、500V(S2)或750V,能满足系统电压、电流、频率和分断能力等功能水平的要求。该产品采用了模块化结构,在加装各种附件(分励线圈、欠电压线圈、辅助触点模块、电动操作机构、各类连接端子)时,不需改变断路器结构,同时实现附件标准化,便于用户的维护。

IsomaxS系列断路器有固定式、插入式或抽出式三种结构型式,供用户选择。S1~S7型断路器可使用固定式安装,S5型及以下等级可使用插入式安装,S3~S7型可使用抽出式安装。接线方式有板前接线、板后接线、板后水平接线和板后垂直接线,并提供各种接线端子附件,能满足不同的用户要求,在采用抽出式安装时,二次回路也具有插接功能。

IsomaxS系列中的S1、S2、S3、S5、S6型框架等级能配备热磁脱扣保护单元，S4、S5、S6、S7、S8型框架等级可配备电子脱扣器PR211、PR212。对大容量的电机，可选PR212/MP保护单元，该保护单元具有过负荷（L）、短路（I）、相不平衡（U）、堵转（R）四种保护，其中过负荷保护是按照电机保护的负荷特性设计的，可以适应10A、10、20、30四种负荷特性，短路保护可以智能地避开电机启动时的冲击电流，而相不平衡和堵转保护则是电动机保护的特别需要。

IsomaxS系列塑壳断路器和A系列（该公司产品）接触器间可以实现完全的无缝连接；配备了PR212/MP保护单元的电机可以完全省略热继电器，使整个电机保护系统显得更加紧凑。此外，无缝连接更可以帮助开关柜生产厂节约大量的连接导线，减少了连接问题造成的故障。

IsomaxS系列塑壳断路器的防护等级IP20，开关柜前面板防护等级IP32，开关柜内防护等级达IP54。S系列塑壳断路器的双绝缘设计，保证用户使用安全。

IsomaxS系列塑壳断路器符合国际IEC 60947.2标准，美国UL等标准。

15) ZW1系列智能型万能式断路器。该系列断路器是按上海电器科学研究所设计的DW45系列断路器在上海华通开关厂五分厂生产的产品，是新型智能型万能式断路器，为国内第三代万能式断路器，具有四遥功能，是国家“八五”开发项目之一。

ZW1系列断路器作为主开关安装在交流50Hz、400V、690V的网络中，用于分配电能，保护线路，防止电源设备遭受过负荷、欠电压、短路、单相接地等故障的危害。该断路器具有多种智能保护功能，可做到选择性保护，可避免不必要的停电，提高了电网运行的安全性、可靠性。

16) CW1系列智能型万能式断路器。该系列智能型万能式断路器是江苏常熟开关厂设计制造的新一代框架断路器，适用于额定工作电压AC690V及以下，额定工作电流至5kA的电路中作主开关，起总保护作用。断路器具有过载延时反时限、短路短延时反时限、短路短延时定时限、短路瞬时、接地故障和欠电压保护等功能，并具有计算机通信与上位机进行双向数据传输，实现运行状态检测，综合判断、执行等功能。

该系列断路器是机电一体化电器产品，由操作机构、触头系统、灭弧室、绝缘底座、智能控制器、二次接插件和辅助开关等组成。

操作机构有电动和手动操作机构两种，装在一起互不干涉。电动操作采用直流串励电动机作为动力源。

触头系统采用一档触头，多路并联。

灭弧室采用耐电弧、耐高温、耐阻燃材料，内置栅片和灭弧栅。

智能控制器由电源、信号采样、CPU、显示器和执行元件等组成。

17) TW30系列智能型万能式断路器。该系列智能型万能式断路器适用于交流50Hz、额定电压400V及690V、额定电流630~3200A的配电网络中。采用智能型脱扣器，具有过负荷、短路、欠电压、单相接地保护功能，并可提供选择性保护，提高供电可靠性，避免不必要的停电。

18) Emax系列框架式空气断路器。该系列框架式空气断路器（以下简称断路器）由ABB SACE公司生产，其产品符合IEC 60947-2标准。

Emax系列断路器可运行于AC690V、DC250V系统中，

电流为800~6300A。可广泛应用于发电机或电动机保护、变压器保护、电容器保护、成组切换开关、自动化设备场合等，还可用于可能产生高短路电流的场合，或严格选择要求的场合或环境污染严重的场合。

该系列断路器具有下列特点：

①断路器整体结构紧凑、尺寸小，全系列产品具有同样的高度和深度，支撑结构标准化。

②断路器为模块化结构设计，附件标准化，所有附件，包括控制线圈、电机等都是交直流通用的。所有附件是接插安装方式，只需插拔就可接线，有利于维修和保养。

③断路器电气寿命和机械寿命都较长，且都配备手动、自动储能装置、辅助触点、闭锁装置、分合闸线圈，有抽出式和固定式可选。辅助回路接线在断路器前方，连接和检修方便，并有多种母线（电缆）的进出线方式供选择。

④断路器有好的绝缘性能和防误操作装置，保证用户操作安全。例如，双层绝缘、使用销及挂锁、使用抗进入的闭锁装置等。

19) HA、HCA、GW3系列智能型低压万能式断路器。该系列智能型低压万能式断路器（以下简称断路器），保护功能完善，具有智能化选择动作的高分断能力的新一代断路器。

该系列断路器额定绝缘电压1000V，适用于交流50Hz、额定电流自630~6300A [其中HA1（HCA1）型为630~2000A、HA2（HCA2）型为2000~3200A、增容至4000A，HA3（HCA3）型为4000~6300A]，额定工作电压230/400V~660/690V的配电网络中，用来分配电能、保护线路及电源设备免受过负荷、欠电压、短路、接地故障等的危害。

该产品的特点如下：

①短路分断能力高，零飞弧距离。

②完善的智能型保护功能：采用微处理器技术的电子脱扣器，具有智能化保护功能。

③全模块结构：整个系列全模块化结构，安装维护方便，无需作任何调整。

④双重绝缘、安全可靠。

⑤体积小、质量轻。

⑥附件齐全，全系列通用。

⑦符合国际标准IEC 947-2，国家标准GB 14048.2-2001。

⑧GW3系列低压断路器增加了隔离功能。

该产品防护等级有IP30（一般敞开式安装）、IP40（安装在柜体小室内，且加装门框）、IP54（安装在柜体小室内，且加装门框及透明罩）。

### 3.3.4 综保继电器

综保继电器的功能类似于电子脱扣器，只是作为一个独立装置与开关部件分开设置，可以做得更完善、功能更强大，控制电源独立设置便于实现，占用空间较大，一般用于电流较大的回路中，在此不再赘述。

## 4 各级保护电器间的选择性配合

(1) 熔断器与熔断器的级间配合

1) 弧前时间大于0.1s，额定电流16A及以上的串联熔断体的过电流选择比为1.6:1。也就是在一定条件下，上级熔断体电流大于或等于下级熔断体电流的1.6倍，就能实现有选择性熔断。

2) 当弧前时间小于0.1s，上级熔断体的弧前 $I^2t_{min}$ 值

大于下级熔断体的熔断  $I^2 t_{\max}$  值时,可认为在弧前时间大于 0.01s 时,上下级熔断体间的选择性可得到保证。

#### (2) 熔断器与非选择型断路器的级间配合

1) 过载时,只要断路器长延时脱扣器的反时限动作特性和熔断器的反时限特性曲线不相交,即熔断体的额定电流值比长延时脱扣器的整定电流值大一定数值,则能满足选择性要求。

2) 短路时,要求熔断器的电流—时间特性曲线上对应于短路电流值的熔断时间,比断路器瞬时脱扣器的动作时间大 0.1s 以上,则下级断路器瞬时脱扣,而上级熔断器不会熔断,能满足选择性要求。

#### (3) 非选择型断路器与熔断器的级间配合

1) 过载时,只要熔断器的反时限特性和断路器长延时脱扣器的反时限动作特性曲线不相交,即长延时脱扣器的整定电流值比熔断体的额定电流值大一定数值,则能满足选择性要求。

2) 短路时,当故障电流大于非选择型断路器的瞬时脱扣器整定电流  $I_{ad3}$  (通常整定为该断路器长延时整定电流  $I_{ad1}$  的 8~14 倍) 时,则上级断路器瞬时脱扣,因此没有选择性;当故障电流小于  $I_{ad3}$  时,下级熔断器先熔断,具有部分选择性。

此方案仅用于允许无选择性断电。

#### (4) 选择型断路器与熔断器的级间配合

1) 过载时,只要熔断器的反时限特性和断路器长延时脱扣器的反时限动作特性曲线不相交,即长延时脱扣器的整定电流值比熔断体的额定电流值大一定数值,则能满足选择性要求。

2) 短路时,由于上级断路器具有短延时功能,一般能实现选择性动作。其参数整定原则如下:

① 下级熔断器额定电流  $I_r$  不宜太大。

② 上级断路器的  $I_{ad2}$  值不宜太小,在满足  $I_d \geq 1.3 I_{ad2}$  要求前提下,宜整定大些。

③ 短延时时间应整定大一些,如 0.4~0.8s。

④  $I_{ad3}$  在满足动作灵敏度条件下,尽量整定大一些,以免破坏选择性。

3) 具体方法是:在多个下级熔断器中找出额定电流最大的,其值为  $I_r$ ,假设熔断器后发生的故障电流  $I_d \geq 1.3 I_{ad2}$  时,在熔断器时间—电流特性曲线上查出其熔断时间  $t$ ;再使断路器脱扣器的延时时间比  $t$  值大 0.15~0.2s。

#### (5) 非选择型断路器与非选择型断路器的级间配合

仅当故障电流大于下级非选择型断路器的瞬时脱扣器整定电流,而又小于上级非选择型断路器的瞬时脱扣器整定电流时,才有选择性。总体上说,这种配合不能保证选择性。

#### (6) 选择型断路器与非选择型断路器的级间配合

这种配合具有良好的选择性,参数整定原则如下:

1) 上级选择型断路器的短路短延时整定电流大于下级非选择型断路器的瞬时脱扣器整定电流的 1.2 倍。上级断路器的短延时、时限一般不大于 0.5s。

2) 上级选择型断路器的瞬时脱扣器整定电流在满足动作灵敏性前提下,尽量整定大些,以免在故障电流很大时破坏选择性。

#### (7) 上级用带接地故障保护的断路器

1) 中性线电流保护方式。中性线电流整定值  $I_{x0}$  一般为  $I_{ad1}$  的 20%~100%,多为几百到一千安培,与下级熔断器和一般断路器很难有选择性。只有后者的额定电流很小(如几十安培)时,才有可能。

整定原则:在满足动作灵敏性要求前提下, $I_{x0}$  应整定得大一些,延时时间尽量长一些。

2) 剩余电流保护方式。这种方式的整定电流更小,对于 TN-S 接地系统,在发生接地故障时,和下级熔断器、断路器之间很难有选择性。这种保护只能要求和下级漏电电流动作保护器之间具有良好选择性,多用于安全防护要求高的场所,所以应在末端电路装设漏电电流动作保护器,以减少非选择性切断电路。

3) 为了防止接地故障而引起电气火灾而设置的漏电电流动作保护器,其整定电流小到 0.5A,应是延时动作,同时末端电路应设有漏电电流动作保护器。有条件时(如有专人值班维护的场所),前者可不切断电路而发出报警信号。

#### (8) 级间选择性联锁 (Zone Selective Interlocking, ZSI)

具有“保护区选择联锁”功能的智能断路器,利用微电子技术使保护更为完善,保证了动作灵敏性和选择性。

## 5 各种低压电器的安装位置要求

1) 保护电器应装设在操作维护方便,不易受机械损伤,不靠近可燃物的地方,并应采取避免保护电器运行时意外损坏对周围人员造成伤害的措施。

2) 对于树干式配电系统,保护电器应装设在被保护线路与电源线路的连接处。为了操作维护的方便,可将保护电器设置在离开连接点 3m 以内的地方,并应采取措施将该线段的短路危险减至最小,且不靠近可燃物。

3) 当从干线引出的敷设于不燃或难燃材料管、槽内的分支线,为了操作维护方便,可将分支线的保护电器装设在距连接点大于 3m 处。但在该分支线装设保护电器前的那一段线路发生短路或接地故障时,离短路点最近的上一级保护电器应能保证按规定的要求动作。

4) 一般情况下,应在三相线路上装设保护电器,在不引出 N 线的 IT 系统中,可只在两相上装设保护电器。

5) N 线上保护电器的装设。在 TN-S 或 TT 系统中,当 N 线的截面与相线相同,或虽小于相线但已被相线上的保护电器所保护时,N 线上可不装设保护;当 N 线不能被相线保护电器所保护时,应另为 N 线装设保护电器,将相应相线电路断开,但不必断开 N 线。

#### 6) 断开 N 线的要求。

① 在 TN-S 或 TT 系统中,不宜在 N 线上装设电器将 N 线断开。当需要断开 N 线时,应装设能同时切断相线和 N 线的保护电器。但在 TN-S 系统中,当能可靠地保持 N 线为低电位时,则 N 线不需断开。

② 当装设漏电电流动作的保护电器时,应能将其所保护回路的所有带电导线断开。

③ 在 TN-C 系统中,严禁断开 PEN 线,不得装设断开 PEN 线的任何电器。当需要为 PEN 线设置保护时,只能断开相应相线回路。

## 6 ATSE 的选用

### 6.1 一般规定

1) 满足国家标准《低压开关设备和控制设备 第 6 部分:多功能电器 第 1 篇:自动转换开关电器》(GB/T 14048.11—2002)的要求。

2) 在允许短时并联运行的供配电系统中,需要进行短时双电源并联运行无间断时间的电源转换时,应采用特殊



转换电器。

3) 在供配电系统设计中,应尽量减少 ATSE 的配置级数。

4) 根据供配电系统的短路电流参数,合理选择 ATSE 的额定短时耐受电流、额定短路接通能力、额定短路分断能力等技术参数。

5) ATSE 安装处不能停电维修时,除 CB 级 ATSE 采用抽屉式安装方式外,应加旁路开关。

6) 串级 ATSE 的动作时间应协调配合,下级 ATSE 的动作时间较上级 ATSE 的动作时间长 0.5~1s。不能满足用电设备断电时间要求时,采用 UPS 或 EPS 供电。

6.2 PC 级 ATSE 的选用

1) 负载为电动机混合负载时,应选用 AC—33B 类别的 PC 级 ATSE;无感或微感负载时,可选用 AC—31B 类别的 PC 级 ATSE。

2) 100A 及以下的 PC 级 ATSE,若负载为电动机时,宜具有 AC—3 指标——接通  $10I_e$ 、分断  $8I_e$ 。

3) PC 级 ATSE 的短路保护电器的额定限制短路电流值须满足 ATSE 制造商的规定。在预期短路电流大的地点,宜采用熔断器作 PC 级 ATSE 的短路保护电器。

4) 短路保护电器的额定电流可与该处 PC 级 ATSE 的额定电流一致。

5) 负载为高感抗或大电机时,为避免切换时的冲击电流,应选用三段式 PC 级 ATSE——具有“常用电源位”、“零位”、“备用电源位”三个工作位,并宜在转换前加延时。

6) PC 级 ATSE 供电线路发生过负荷或短路故障时,保护电器脱扣或熔断,控制电路应能闭锁,不进行转换操作。

7) 二段式 PC 级 ATSE 的总动作时间一般为 50~250ms;三段式 PC 级 ATSE 的总动作时间一般为

350~600ms。

8) 制造厂未指定短路保护电器 (SCPD) 的 PC 级 ATSE,其额定短时耐受电流值如表 5.8-11 所示。

表 5.8-11 额定短时耐受电流值

额定工作电流 (方均根值) $I_N$ (A)	耐受时间 (s) (交流 50Hz 电源)	额定短时耐受电流 (方均根值) $I_{ew}$ (kA)
$I_N \leq 100$	0.03	5
$100 < I_N \leq 400$	0.03	10
$400 < I_N \leq 500$	0.06	10
$500 < I_N \leq 1000$	0.06	$20I_e$
$I_N > 1000$	0.06	$20I_N$ 或 50kA (选择小的)

根据 PC 级 ATSE 安装处的预期短路电流校验额定短时耐受电流,不能满足要求时:其一,可根据制造厂提供的短路保护电器 (SCPD) 在短路保护电器动作时间内足以耐受预期短路电流值;其二,选用 CB 级 ATSE 替代 PC 级 ATSE。

6.3 CB 级 ATSE 的选用

1) CB 级 ATSE 具有短路保护电器的功能,应满足供配电系统短路保护的分断能力。

2) CB 级 ATSE 的操作机构,应选用双操作机构;不得选用微型断路器组装的 ATSE。

3) CB 级 ATSE 用于消防水泵、消防风机等重要负载时,应采用仅具有电磁式脱扣器的断路器,且该 CB 级 ATSE 与下级保护电器之间应有选择性动作。

4) CB 级 ATSE 的总动作时间一般为 2000~3000ms。

## 第9章 特低电压配电

用特低电压 (Extra-Low Voltage) 供电, 是防电击措施之一。特低电压防护措施分为三类, 简述如下。

### 1 SELV (Self-sufficient ELV)

#### 1.1 SELV 的电源要求

SELV 的电源要求如图 5.9-1 所示。

- 1) 符合 GB 19212.7—2006 要求的安全隔离变压器。
- 2) 安全等级相当于安全隔离变压器的电源 (如具有等效隔离绕组的电动发电机)。
- 3) 电化电源 (如蓄电池) 或与电压较高回路无关的其他电源 (如柴油发电机)。
- 4) 符合相应标准的某些电子设备, 这些电子设备已经采取了措施, 以保证即使发生内部故障, 引出端子的电压也不超过交流 50V, 直流 120V。在直接接触或间接接触情况下, 如果引出端子上的电压立即降至不大于上述电压值, 则允许引出端子上出现大于交流 50V, 直流 120V 的电压。
- 5) 安全隔离变压器或电动发电机等移动式电源的选择和安装, 必须达到 II 类设备或与 II 类设备等效的绝缘。

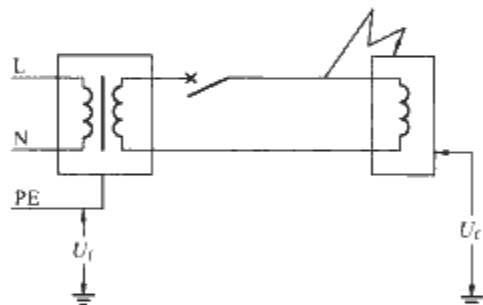


图 5.9-1 SELV 电路图

#### 1.2 SELV 回路的配置

- 1) SELV 回路的带电部分互相之间及与其他回路之间必须实行电气隔离, 其电气隔离水平不得低于安全隔离变压器输入与输出回路之间的电气隔离水平。
- 2) SELV 系统的回路导线必须与其他任何回路的导线物理上隔离。当本要求不能满足时, 则要求采用如下措施之一:
  - ① SELV 回路的导线除应具有基本绝缘外, 还必须装在封闭的非金属护套内。
  - ② 电压不同的回路的导线必须以接地的金属屏蔽层或接地的金属护套分隔开。
  - ③ 电压不同的回路可以包含在一根多芯电缆或其他成组的导线内, 但 SELV 回路的导线应单独地或集中地绝缘起来, 其绝缘水平应按其中的最高电压考虑。
- 3) SELV 系统的插头及插座必须满足如下要求:
  - ① 插头必须不可能插入其他电压系统的插座内。
  - ② 插座必须不可能被其他电压系统的插头插入。
  - ③ 插座不得设置保护线触头。

#### 1.3 SELV 回路的要求

- 1) SELV 的带电部分严禁与大地或其他回路的带电部

分及保护导体相连接。

- 2) 外露可导电部分不允许有意地与下列部分之一连接:

- ① 大地。
- ② 其他回路的保护导体和外露可导电部分。
- ③ 外部可导电部分。

- 3) 如果标称电压超过交流 25V 或直流 60V, 应由下列措施来实现直接接触防护:

- ① 使用防护等级至少为 IPXXB 的遮拦或外护物。
- ② 绝缘能耐受交流 500V 试验电压, 历时 1min。

### 2 PELV (Protective ELV)

- (1) PELV 系统的电源要求同 SELV 系统的电源要求
- (2) PELV 的回路配置同 SELV 的回路配置 (见图 5.9-2)
- (3) PELV 回路的要求

- 1) 直接接触防护必须由下列措施之一来实现:

- ① 使用防护等级至少为 IPXXB 的遮拦或外护物。
- ② 绝缘能耐受交流 500V 试验电压, 历时 1min。

- 2) 如果设备在等电位联结有效区域内且标称电压不超过下述值时, 不需设置上述直接接触防护:

- ① 设备通常只在干燥情况下使用, 且带电部分不和人身体大面积接触时, 交流 25V 或直流 60V。
- ② 其他任何情况下, 交流 6V 或直流 15V。

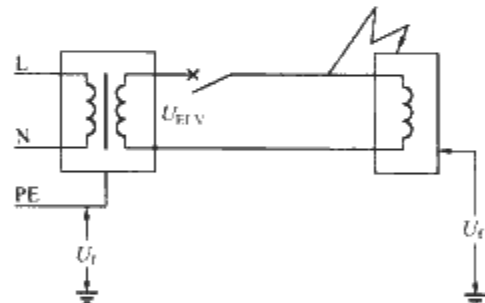


图 5.9-2 PELV 电路图

### 3 FELV (Functional ELV)

#### 3.1 FELV 一般要求

由于功能上的原因, 使用了标称电压不超过交流 50V, 直流 120V, 但有关 SELV 或 PELV 的所有要求不能完全满足, 及没有必要使用 SELV 或 PELV 时, 则必须采用下述防护措施以保证直接接触及间接接触的防护, 这种防护措施的组合称为 FELV, 如图 5.9-3 所示。

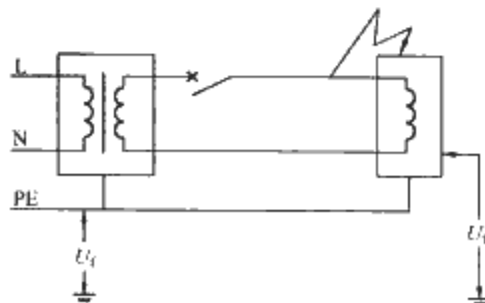


图 5.9-3 FELV 电路图



### 3.2 直接接触防护

直接接触防护必须由以下措施之一来实现：

- 1) 使用防护等级满足要求的遮拦或外护物。
- 2) 使用与一次回路要求的最小试验电压相当的绝缘。

如果 FELV 回路中设备的绝缘不能耐受一次回路所要求的试验电压，则设备的可触及的非导电部分的绝缘水平必须在安装期间予以加强，使其能够耐受交流 1500V，历时 1min 的试验电压。

## 第10章 电气设备布置

### 1 正常环境的配电设备布置要求

#### (1) 配电设备的布置

必须遵循安全、可靠、适用和经济等原则，并应便于安装、操作、搬运、检修、试验和监测。

#### (2) 建筑物内的配电箱

应尽量靠近负荷中心和配电中心。用电设备的开关、按钮等已装在操作人员的近旁。房间的电源开关宜装在门的近旁。

#### (3) 配电箱、控制箱

配电箱、控制箱的正面应有不小于1.0m的操作、维修间距。

#### (4) 落地式配电箱

落地式配电箱的底部宜抬高，室内宜高出地面50mm以上，室外应高出地面200mm以上。底座周围应采取封闭措施，并应能防止鼠、蛇等小动物进入箱内。

#### (5) 机械加工、冲压及锻铸等厂房的插座等电器

该场所的插座等电器不宜安装在800mm以下。

#### (6) 插接式母线槽的安装

一般安装在柱上、墙上或立柱上，其位置和高度不应影响设备的操作和维修，并应沿着起重机行走方向布置，且不应低于2.5m。

### 2 爆炸及火灾危险环境的配电设备布置要求

1) 爆炸和火灾危险环境的配电设备布置应满足现行的国家标准《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》的要求。

2) 配电设备应布置在爆炸危险性较小或没有爆炸危险的环境内。

3) 在火灾危险环境内，正常运行时有火花的外壳表面温度较高的电气设备，应远离可燃物质。

4) 在火灾危险环境内，不宜使用电热器。当生产要求必须使用电热器时，应将其安装在非燃材料的底板上。

### 3 腐蚀性环境的配电设备布置要求

配电设备应尽量避免布置在有腐蚀性环境的场所；如必须布置在其中，配电设备应采用防腐型设备，或采取必要的防腐措施。

### 4 洁净环境的配电设备布置要求

1) 洁净室内的配电设备应选择不易积尘、便于擦拭的小型暗装设备，不宜设置大型落地安装的配电设备。

2) 洁净区内安装于墙上的电气设备与墙体接缝处应有可靠的密封措施。

### 5 高频环境的配电设备布置要求

1) 高频环境中的电源装置应有金属屏蔽外壳。高频回路中外露的导体和电气设备应采取操作人员免受高频电场伤害的局部屏蔽措施。

2) 高频环境中的电源线路在需要处应装设滤波器。

### 6 高温环境的配电设备布置要求

配电设备应尽量避免布置在高温环境中，在高温环境中的开关电器及导线应采取降容措施。

## 第11章 电能质量

### 1 概述

电力系统的电能质量是指电压、频率和波形的质量。电能质量主要指标包括电压偏差、电压波动和闪变、频率偏差、谐波（电压、电流谐波畸变率和谐波电压、电流含有率）和三相电压不平衡度等。

### 2 电压偏差

#### (1) 基本概念

电压偏差是供电系统在正常运行方式下（即系统中所有元件都按预定工况运行），系统各点的实际电压  $U$  对系统标称电压  $U_n$  的偏差  $\delta U$ ，常用相对于系统标称电压的百分数表示，即

$$\delta U = \frac{U - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (5.11-1)$$

#### (2) 电压偏差允许值

1) 电气设备均应在其标称的额定电压下运行，否则会出现输出功率降低、过电流、过热等问题。

2) 在配电设计中，常用电气设备端子的电压偏差应按《供配电系统设计规范》（GB 50052—1995）的规定值见表 5.11-1 进行设计。表中照明数据是根据《建筑照明设计标准》（GB 50034—2004）以及《城市道路照明设计标准》（CJJ 45—2006）中的规定；电动机数据是根据《电动机基本技术要求》（GB 755—2000）的规定，括号内所示见该规范条文说明。

表 5.11-1 用电设备端子电压偏差允许值

名 称	电压偏差允许值 (%)	名 称	电压偏差允许值 (%)
电动机		照明	
正常情况下	+5~−5	一般工作场所	+5~−5
少数远离变电所	+5~−10	远离变电所的小面积一般工作场所	+5~−10
		应急照明、安全特低电压供电的照明	+5~−10
		道路照明	+5~−5

3) 供电电压允许偏差。按照《电能质量 供电电压允许偏差》（GB/T 12325—2003）给定的供电电压允许偏差值，见表 5.11-2。

表 5.11-2 供电部门和用户产权分界处的供电电压偏差允许值

系统标称电压 (kV)	供电电压偏差允许值 (%)
>35 三相 (线电压)	正、负偏差绝对值之和 ≤10
≤10 三相 (线电压)	±7
0.22 单相 (相电压)	+7、−10

- 注 1. 供电电压偏差允许值是电力系统在正常运行条件（指电力系统中所有元件都按预定工况运行）下，供电电压对系统标称电压的偏差，它是用户计费电能表处一年四个季节中最大偏差值，一般不出现在一个季节，用户可调整变压器分接头以适应季节性电压的变化。
2. 用电设备额定工况的电压偏差允许值仍由有关标准规定，例如旋转电机按《旋转电机基本技术要求》（GB 755—2000）标准规定。
3. 对电压有特殊要求的用户，供电电压偏差允许值由供用电协议确定。如供电电压偏差均为正偏差或均为负偏差时，按较大的偏差绝对值作为衡量依据。

#### (3) 电压偏差计算

如果在某段时间内线路或其他供电元件首段的电压偏差为  $\delta u_1$ ，线路电压损失为  $\Delta u_1$ ，则线路末端电压偏差为

$$\delta u_x = \delta u_1 - \Delta u_1 \quad (5.11-2)$$

当有变压器或其他调压设备时，还应计入该设备内的电压提升，即

$$\delta u_x = \delta u_1 + e - \Sigma \Delta u \quad (5.11-3)$$

式中， $\delta u_1$  为线路首端的电压偏差，%； $\Sigma \Delta u$  为回路中电压损失总和，%； $e$  为变压器分接头设备的电压提升，%。

#### (4) 线路电压损失

1) 电压损失是指串联电路中阻抗元件两端电压的代数差。

2) 线路电压损失允许值。在配电设计中，应按照用电设备端子电压偏差允许值的要求和地区电网电压偏差的具体情况，确定电压损失允许值。当缺乏计算资料时，线路电压损失允许值可参考表 5.11-3。变压器高压侧为稳定的系统标称电压时，低压侧线路允许电压损失计算值见表 5.11-3。

表 5.11-3 线路电压损失允许值

名 称	允许电压损失 (%)
从配电变压器二次侧母线算起的低压线路	5
从配电变压器二次侧母线算起的供给有照明负荷的低压线路	3~5
从 110(35)/10(6)kV 变压器二次侧母线算起的 10(6)kV 线路	5

### 3 电压波动与闪变

#### (1) 基本概念

1) 电压波动或闪变是指电压方均根值（每半个基波电压周期方均根值）一系列的快速变动。它是波动负荷（生产或运行过程中从电网中取用快速变动功率的负荷，例如炼钢电弧炉、轧机、电弧焊机等）引起的电压快速变动，可能引起人对灯闪的不适感以及信息技术设备的工作受到干扰。

电压变动  $d$  是电压方均根值变动的时间特性曲线上相邻两个极值之差，以系统标称电压  $U_n$  的百分数表示，即

$$d = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_n} \times 100\% \quad (5.11-4)$$

电压变化频度  $r$  是单位时间内电压变动的次数（电压由大到小或由小到大各算一次变动）。同一方向的若干次变动，如间隔时间小于 30ms，则算一次变动。

单位时间内电压变动的次数称为电压变动的频度  $r$ ，一般以  $\text{min}^{-1}$  或  $\text{s}^{-1}$  作为频度的单位。

国际电工标准（IEC）规定，在低压民用电力网中，稳态电压变动  $d_c$  应不超过 3%，最大的电压变动  $d_{\max}$  应不超过 4%，电压变动  $d$  超过 3% 的持续时间不应超过 200ms。

2) 闪变是电压波动引起的视感效应，是指灯光照度不稳定造成的视觉感受。短时闪变值  $P_{st}$  是衡量短时间（若干分钟）内闪变强弱的一个统计值。 $P_{st} = 1$  为闪变引起视感

刺激性的通常值。长时间闪变值  $P_{lt}$  是由短时间闪变值  $P_{st}$  推算出,反映长时间(若干小时)闪变强弱的量值。

#### (2) 电压变动和闪变的限值

1) 按《电能质量 电压波动和闪变》(GB 12326—2000)的有关限值和叠加的规定:电力系统公共连接点处(电力系统中一个以上用户的连接处)由波动负荷产生的电压变动限值  $d$  与变动频度  $r$  和电压等级有关,见表 5.11-4。

表 5.11-4 电压变动限值

$r$ ( $h^{-1}$ )	$d$ (%)	
	LV ( $U_n \leq 1kV$ ), MV ( $1kV < U_n \leq 35kV$ )	HV ( $U_n > 35kV$ )
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3	2.5
$10 < r \leq 100$	2*	1.5*
$100 < r \leq 1000$	1.25	1

注 对于随机性不规则的电压波动,依 95% 概率最大值(指的是将实测值由大到小的次序排列,舍弃前面 5% 的大值,取剩余的实测值中最大值),表中有“\*”的值为其限值。

2) 电力系统公共连接点处,由波动负荷引起的短时闪变值  $P_{st}$  和长时间闪变值  $P_{lt}$  应不大于表 5.11-5 所列的限值。

表 5.11-5 各级电压下的闪变限值

系统电压等级	LV ( $U_n \leq 1kV$ )	MV ( $1kV < U_n \leq 35kV$ )	HV ( $U_n > 35kV$ )
$P_{st}$	1.0	0.9(1.0)	0.8
$P_{lt}$	0.8	0.7(0.8)	0.6

注 1.  $P_{st}$  和  $P_{lt}$ 。每次测量周期分别取为 10min 和 2h (余同)。

2. MV 括号中的值仅适用于公共连接点连接的所有用户为同电压级的用户场合。

#### (3) 引起电压波动和闪变的常见设备及降低措施

1) 引起电压波动和闪变的常见设备,主要包括电弧炉及电弧焊机等。它们在工作时,随机且大幅度波动的无功功率会引起配电系统电压的严重波动,并构成闪变干扰。

2) 单相电弧焊机的额定电压,除小容量电焊机外应尽量采用 380V 而不采用 220V。多台电弧焊机宜均匀地接在三相线路上,当容量较大时宜在线路上并联电容器。

3) 较大容量的电弧焊机宜用专线供电。

4) 选用较大容量的变压器供电。

5) 较大容量的电弧焊机或焊机群与对电压变动和闪变敏感的负荷,分别由不同的变压器供电。

6) 选用阻抗电压比较小的变压器供电,条件许可时可采用两台相同参数的变压器并联供电,以降低阻抗电压。

### 4 大功率设备启动时的电压降及其供电电源容量的确定

#### (1) 基本概念

电动机启动时在配电系统中要引起电压下降。启动前的电压有效值  $U$  与启动时的电压有效值  $U_q$  之差称为电压下降,用相对值(与系统标称电压  $U_n$  的比值)或百分数表示,即

$$\Delta u_q = \frac{U - U_q}{U_n}$$

$$\text{或} \quad \Delta u_q = \frac{U - U_q}{U_n} \times 100\% \quad (5.11-5)$$

电动机启动时的电压相对值(与系统标称电压  $U_n$  的比值)或百分数表示为

$$u_q = \frac{U_q}{U_n}$$

$$\text{或} \quad u_q = \frac{U_q}{U_n} \times 100\% \quad (5.11-6)$$

(2) 电动机启动时在配电系统中引起电压下降时的电压允许值

电动机启动时,其端子电压应能保证被拖动机械要求的启动转矩,且在配电系统中引起的电压下降不应妨碍其他用电设备的工作,即电动机启动时,配电母线上的电压应符合下列要求:

1) 在一般情况下,电动机频繁启动时不应低于系统标称电压的 90%,电动机不频繁启动时,不宜低于标称电压的 85%。

2) 配电母线上未接照明负荷或其他对电压下降敏感的负荷且电动机不频繁启动时,不应低于标称电压的 80%。

3) 配电母线上未接其他用电设备时,可按保证电动机启动转矩的条件决定;对于低压电动机,还应保证接触器线圈的电压不低于释放电压。

#### (3) 电机启动时供电电源容量的确定

笼型异步电动机直接启动时,供电电源容量的确定原则见表 5.11-6。

表 5.11-6 按电源容量估算的允许全压启动的电动机最大功率

电动机连接处电源容量的类别	允许全压启动的电动机最大功率(kW)
配电网络在连接处的三相短路容量 $S_k$ (kVA)	$(0.02 \sim 0.03) S_k$
10(6)/0.4kV 变压器的容量 $S_{TF}$ (kVA) (假定变压器高压侧短路容量大于或等于 $50S_{TF}$ )	经常启动时,小于或等于 $0.2S_{TF}$ 不经常启动,小于或等于 $0.3S_{TF}$
小型发电机功率 $P_G$ (kW) 变压器电动机组	$(0.12 \sim 0.15) P_G$ 电动机功率不大于变压器容量的 80%

① 对应于电动机额定启动电流倍数为 7~4.5 的情况。

### 5 谐波

#### (1) 基本概念

交流电网中,由于许多非线性电气设备的投入运行,其电压、电流波形实际上不是完全的正弦波形,而是不同程度畸变的非正弦波。非正弦波通常是周期性电气分量,根据傅里叶级数分析,可分解成基波分量和具有基波分量整数倍的谐波分量。非正弦波的电压或电流有效值等于基波和各次谐波电压或电流有效值的方均根(平方和的平方根)值。基波频率为电网频率(工频 50Hz)。谐波次数( $n$ )是谐波频率与基波频率的整数比。

谐波含有率是周期性电气量中含有的第  $n$  次谐波分量有效值与基波分量有效值之比,用百分数表示。第  $n$  次谐波电压和谐波电流含有率分别为:

$$HRI_n = \frac{U_n}{U_1} \times 100\% \quad (5.11-7a)$$

$$HRI_n = \frac{I_n}{I_1} \times 100\% \quad (5.11-7b)$$

式中,  $U_n$ 、 $U_1$  为第  $n$  次谐波电压和基波电压有效值, kV;  $I_n$ 、 $I_1$  为第  $n$  次谐波电流和基波电流有效值, A。

谐波含量(电压或电流)是周期性电气量中含有的各次谐波分量有效值的方均根值。谐波电压和谐波电流含量分别为

$$U_h = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2} \quad (5.11-8a)$$

$$I_h = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \quad (5.11-8b)$$

表征波形畸变程度的总谐波畸变率，是用周期性电气量中的谐波含量与其基波分量有效值之比，用百分数表示。电压、电流总谐波畸变率分别为

$$\begin{aligned} \text{THD}_U &= \frac{U_h}{U_1} \times 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \times 100\% \\ &= \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (H R U_n)^2} \times 100\% \quad (5.11-9a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{THD}_I &= \frac{I_h}{I_1} \times 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \\ &= \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (H R I_n)^2} \times 100\% \quad (5.11-9b) \end{aligned}$$

$$U = \sqrt{U_1^2 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n^2} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2} \quad (5.11-10a)$$

$$I = \sqrt{I_1^2 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (5.11-10b)$$

式中， $U$  为电压有效值，kV； $I$  为电流有效值，A。

谐波按照相序，分为正序谐波（第 4、7、10、…， $3n+1$  次）、负序谐波（第 2、5、8、…， $3n-1$  次）、零序谐波（第 3、6、9、…， $3n$  次）。按照谐波次数，分为偶次谐波、奇次谐波、分次谐波（非整数次谐波）。

## (2) 谐波源

用户向公用电网注入谐波电流的电气设备或在公用电网中产生谐波电压的电气设备，统称谐波源。常见谐波源主要有：换流设备、电弧炉、铁心设备、照明设备、某些生活日用电器等非线性电气设备。

## (3) 谐波标准

表 5.11-8

注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压 (kV)	基准短路容量 (MVA)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)																							
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	9.7	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	5.3	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.4	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	3.2	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	4.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	2.4	1.1	2.1	1.0	1.5

表 5.11-9

A 类设备的谐波电流限值

奇 次		偶 次	
谐波次数 $n$	最大允许谐波电流 (A)	谐波次数 $n$	最大允许谐波电流 (A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	$8 \leq n \leq 40$	$0.3 \times 8/n$
11	0.33		
13	0.21		
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 15/n$		

根据国家标准《电能质量 公用电网谐波》（GB/T 14549—1993）的规定，公共电网谐波电压（相电压）限值见表 5.11-7。

表 5.11-7 公共电网谐波电压（相电压）限值

电网标称电压 (kV)	电压总谐波畸变 (%)	各次谐波电压含有率 (%)	
		奇 次	偶 次
0.38	5.0	4.0	2.0
6、10	4.0	3.2	1.6
35、66	3.0	2.4	1.2
110	2.0	1.6	0.8

公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电流分量（方均根值）应不超过表 5.11-8 中规定的允许值。

当电网公共连接点的最小短路容量不同于表 5.11-8 基准短路容量时，应按照式 5.11-11 修正表中的谐波电流允许值

$$I_n = (S_{k1}/S_{k2}) I_{np} \quad (5.11-11)$$

式中， $S_{k1}$  为公共连接点的最小短路容量，MVA； $S_{k2}$  为基准短路容量，MVA； $I_{np}$  为表 5.11-8 中第  $n$  次谐波电流允许值，A； $I_n$  为短路容量为  $S_{k1}$  时的第  $n$  次谐波电流允许值，A。

在国家标准《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流小于或等于 16A）》（GB 17625.1—2003）中，按照谐波电流限值，设备分类如下：

1) A 类。平衡的三相设备；家用电器，不包括列入 D 类的设备；工具，不包括便携式工具；白炽灯调光器；音频设备。A 类设备的谐波电流限值见表 5.11-9。

2) B 类。便携式工具；不属于专用设备的电弧焊设备。B 类设备输入电流的各次谐波应不超过表 5.11-9 给出值的 1.5 倍。

3) C 类。照明设备。C 类设备的谐波电流限值见表 5.11-10。

4) D 类。按照某些要求，额定功率不大于 600W 的设备有：个人计算机或个人计算机显示器；电视接收机。D 类设备的谐波电流限值见表 5.11-11。

表 5.11-10

C 类设备的谐波电流限值

谐波次数 $n$ (仅有奇次)	基波频率下输入电流以百分数表示的 最大允许谐波电流含量 (%)
2	2
3	$30 \times \lambda^{\text{①}}$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$	3

①  $\lambda$  为电路功率因数。

表 5.11-11 D 类设备的谐波电流限值

谐波次数 $n$ (仅有奇次)	每瓦允许的 最大谐波电流 (mA/W)	最大允许 谐波电流 (A)	谐波次数 $n$ (仅有奇次)	每瓦允许的 最大谐波电流 (mA/W)	最大允许 谐波电流 (A)
3	3.4	2.30	9	0.5	0.40
5	1.9	1.14	11	0.35	0.33
7	1.0	0.77	$13 \leq n \leq 39$	$3.85/n$	$0.15 \times 13/n$

(4) 减小谐波影响的技术措施 (见表 5.11-12)

表 5.11-12 减小谐波影响的技术措施

序 号	名 称	内 容	评 价
1	增加换流装置的脉动数	改造换流装置或利用相互间有一定移相角的换流变压器	(1) 可有效地减少谐波含量 (2) 换流装置容量应相等 (3) 使装置复杂化
2	加装交流滤波装置	在谐波源附近安装若干单调谐或高通滤波支路, 以吸收谐波电流	(1) 可有效地减少谐波含量 (2) 应同时考虑无功补偿和电压调整效应 (3) 运行维护简单, 但需专门设计
3	改变谐波源的配置或工作方式	具有谐波互补性的设备应集中布置, 否则应分散或交错使用, 适当限制谐波量大的工作方式	(1) 可以减小谐波的影响 (2) 对装置的配置或工作方式有一定的要求
4	加装串联电抗器	在用户进线处加串联电抗器, 以增大和系统的电气距离, 减小谐波对地区电网的影响	(1) 可减小和系统的谐波相互影响 (2) 应同时考虑功率因数补偿和电压调整效应 (3) 装置运行维护简单, 但需专门设计
5	改善三相不平衡度	从电源电压、线路阻抗、负荷特性等找出三相不平衡原因, 加以消除	(1) 可有效地减少 3 次谐波的产生 (2) 有利于设备的正常用电, 减小损耗 (3) 有时需要用平衡装置
6	加装静止无功补偿装置 (或称动态无功补偿装置)	采用 TCR、TCT 或 SR 型静补装置时, 其容性部分设计成滤波器	(1) 可有效地减少波动谐波源的谐波含量 (2) 有抑制电压波动、闪变、三相不对称和无功补偿的功能 (3) 一次性投资较大, 需专门设计
7	增加系统承受谐波能力	将谐波源改由较大容量的供电点或由高一电压的电网供电	(1) 可以减小谐波源的影响 (2) 在规划和设计阶段考虑
8	避免电力电容器组对谐波的放大	改变电容器组串联电抗器的参数, 或将电容器组的某些支路改为滤波器, 或限制电容器组的投入容量	(1) 可有效地减小电容器组对谐波的放大并保证电容器组安全运行 (2) 需专门设计
9	提高设备或装置抗谐波干扰能力, 改善抗谐波保护的性能	改进设备或装置性能, 对谐波敏感设备或装置采用灵敏的保护装置	(1) 使用于对谐波 (特别暂态过程中的谐波) 较敏感的设备或装置 (2) 需专门研究
10	采用有源滤波器、无源滤波器等新型抑制谐波的措施	研制、逐步推广应用	目前还只用于较小容量谐波源的补偿, 造价较高

6 不平衡度

(1) 基本概念

交流额定频率为 50Hz 电力系统正常运行方式下, 由于负序分量引起的公共连接点的电压不平衡。

1) 不平衡度。表示三相电力系统运行中三相不平衡的程度, 用电压或电流负序分量与正序分量的方均根值百分比来表示。

2) 正序分量。将不平衡的三相系统的电量按对称分量法分解后, 其正序对称系统中的分量。

3) 负序分量。将不平衡的三相系统的电量按对称分量法分解后, 其负序对称系统中的分量。

4) 公共连接点。电力系统中一个以上用户的连接处。

5) 电压不平衡度的允许值。

①电力系统的公共连接点正常电压不平衡度允许值为 2%, 短时不得超过 4%。

电气设备额定工况的电压不平衡度和负序电流允许值查阅电气设备各自的标准规定确定, 如旋转电机, 查阅《旋转电机 基本技术要求》(GB 755—2000) 规定。

②接于公共连接点的每个用户, 引起该点正常电压不平衡度允许值一般为 1.3%。根据公共连接点的负荷状况, 邻近发电机、继电保护和自动装置安全运行要求, 可作适当变动, 但必须满足要求。

6) 引起电压不平衡的原因。电力系统中三相电压不平衡主要是由负荷不平衡、系统三相阻抗不对称以及消弧线圈的不正确调谐所引起的。



在中性点不接地系统(6kV、10kV、35kV)中,当消弧线圈调谐不当和系统对地电容处于串联谐振状态时,会引起中性点电压过高,从而引起三相对地电压的严重不平衡。《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)的规定,中性点电压位移率应小于15%相电压。

#### (2) 不平衡负荷产生的影响

1) 引起旋转电机的附加发热和振动,危及其安全运行和正常出力。

2) 引起以负序分量为起动元件的多种保护发生误动作(特别是当电网中同时存在谐波时),这对电网安全运行是有严重威胁的。

3) 电压不平衡使半导体变流设备产生附加的谐波电流(非特征谐波),而这种设备一般设计上只允许2%的电压不平衡度。

4) 电压不平衡使发电机容量利用率下降。由于不平衡时最大相电流不能超过额定值,在极端情况下,只带单相负荷时则设备利用率仅为  $UI/\sqrt{3}UI=0.577$ 。

5) 变压器的三相负荷不平衡,不仅使负荷较大的一相绕组过热导致其寿命缩短,而且还会由于磁路不平衡,大量漏磁通经箱壁、夹件等使其严重发热,造成附加损耗。

6) 在低压配电线路中,三相负荷不平衡会影响计算机正常工作,还会引起照明光源寿命缩短(电压过高)或照度不足(电压过低)以及电视机的损坏等。

7) 三相负荷不平衡时,将引起电网损耗的增加。

8) 使电加热炉的电消耗增加,产量减少,使炉子的效率降低。

9) 对于通信系统,电力三相不平衡时,会增大对其干扰,影响正常通信质量。

#### (3) 降低三相低压配电系统的不平衡度的措施

为降低三相低压配电系统的不平衡度,设计低压配电系

统时常用的措施:

1) 单相用电设备接入220/380V三相系统时应尽量使三相负荷平衡。

2) 由地区公共低压电网供电的220V照明负荷,若线路电流不超过30A可用单相供电,否则应以220/380V三相四线制供电。

3) 将不对称负荷接到更高的电压等级电网供电,以使连接点的短路容量  $S_k$  足够大(如对于单相负荷,  $S_k$  大于50倍负荷容量时,就能保证连接点的电压不平衡度小于2%)。

4) 采用平衡装置。

#### (4) 不平衡度的相关计算表达式

##### 1) 不平衡度的计算表达式

$$\epsilon_U = \frac{U_2}{U_1} \times 100\% \quad (5.11-12)$$

式中,  $U_1$  为三相电压正序分量方均根值, V;  $U_2$  为三相电压负序分量方均根值, V;

如将式中的  $U_1$ 、 $U_2$  换为  $I_1$ 、 $I_2$ , 则成为相应的电流不平衡度  $\epsilon_I$  的表达式。

##### 2) 不平衡度的近似计算式。

① 设公共连接点的正序阻抗与负序阻抗相等, 则

$$\epsilon_U = \frac{\sqrt{3}I_2U_L}{10S_k} \% \quad (5.11-13)$$

式中,  $I_2$  为电流的负序值, A;  $S_k$  为公共连接点的三相短路容量, MVA;  $U_L$  为线电压, kV。

② 相间单相负荷引起的电压不平衡度表达式为

$$\epsilon_U = \frac{S_L}{S_k} \times 100\% \quad (5.11-14)$$

式中,  $S_L$  为单相负荷容量, MVA。

## 第12章 电动机的起动、控制、保护

### 1 电动机起动方式的选择原则

1) 电动机起动方式的选择应遵循简单可靠、经济合理的原则。

- 2) 电动机起动方式应保证传动机械所要求的起动转矩。  
3) 电动机起动时在配电系统中引起的电压下降应不超过允许值,不应妨碍其他用电设备正常工作。  
4) 电动机起动方式应与供电电源的容量相适应。

表 5.12-1

电动机起动方式及其特点

起动方式	全压起动	变压器— 电动机组起动	电抗器 降压起动	自耦变压器 降压起动	软起动	星—三角降压起动
起动电压	$U_n$	$kU_n$	$kU_n$	$kU_n$	$(0.4 \sim 0.9) U_n$ (电压斜坡)	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_n = 0.577 U_n$
起动电流	$I_q$	$kI_q$	$kI_q$	$k^2 I_q$	$(2 \sim 5) I_n$ (额定电流)	$\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 I_q = 0.33 I_q$
起动转矩	$T_q$	$k^2 T_q$	$k^2 T_q$	$k^2 T_q$	$(0.15 \sim 0.8) T_q$	$\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 T_q = 0.33 T_q$
突跳起动					可选 (90% $U_n$ 或 80% $T_q$ 直接起动)	
适用范围	高、低压电动机	高、低压电动机	高压电动机	高、低压电动机	低压电动机	定子绕组为三角形接线的中心型低压电动机
起动特点	起动方法简单, 起动电流大, 起动转矩大	起动电流较大, 起动转矩较小		起动电流小, 起动转矩较大	起动电流小并可调, 起动转矩可调	起动电流小, 起动转矩小

注 1. 表中  $U_n$  为标称电压;  $I_q$ 、 $T_q$  为电动机的全压起动电流和起动转矩;  $k$  为起动电压与标称电压的比值, 对于自耦变压器为变比。  
2. 电动机起动时, 如起动电器受端电压降低为标称电压的  $u_q$  倍, 则表中起动电压、起动电流、起动转矩尚应分别乘以  $u_q$ 、 $u_q$  及  $u_q^2$ 。

### 2 电动机起动设备的选择及要求

#### (1) 软起动设备的选择原则及要求

1) 软起动器工作原理及其与传统减压起动方式的区别。软起动器主要由三相反并联的晶闸管及电子控制电路组成。起动时, 晶闸管的导通角从  $0^\circ$  开始, 逐渐增大, 电动机的端电压从 0 开始逐渐上升, 直至达到克服阻力矩, 保证起动成功。

笼型异步电动机的传统起动方式有星—三角起动、自耦减压起动、串联电抗器起动等等。这些起动方式都属于有级减压起动, 起动转矩不可调, 起动过程中会出现二次冲击电流, 对负载机械有冲击转矩, 且受电网电压波动的影响。软起动器可以克服上述缺点, 软起动器具有无冲击电流、恒流起动、可无级调节至最佳起动电流等优点。

2) 软起动设备的选择。原则上, 不需要调速的笼型异步电动机均可应用软起动器。

①要求减小电动机起动时产生力矩冲击的设备, 例如, 起动频繁的起重机、机床等, 应用软起动器可显著延长机械的使用寿命。

②要求起动、停车比较平滑的设备, 例如机库电动大门等, 应用软起动器可收到较好的效果, 避免冲击等现象。

③不允许电动机瞬时停机的场合, 例如高层建筑供水系统, 若瞬时停机, 会产生“水锤”效应, 使管道甚至水泵损坏。应用软起动器的软停车功能可解决上述问题。

④对起动、制动以及起动特性有特殊要求的场合, 应用软起动器可比较方便地实现。

⑤对于轻载起动、负载持续率低的电动机, 应用软起动器可实现较明显的节能效果。

⑥由于软起动器起动过程中, 电动机端电压低于额定电压, 起动转矩较小。一般来说, 起动转矩小于 50% 的负载, 宜采用软起动器; 而对于起动转矩大于 50% 的负载, 宜采用变频器; 采用软起动器应考虑适当降容。

⑦应避免同一配电线路上多台软起动器同时起动, 软起动器起动过程中产生大量高次谐波, 可能会对其晶闸管的触发产生影响, 起动电流增大。

#### (2) 变频设备的选择原则及要求

1) 变频器工作原理。变频器通过变换负载的频率与电压, 来实现起动与调速。其变化频率的方法, 有交—直—交、交—交等。变频器的控制方式, 按照其发展年代先后经历了:  $U/f = C$ , 正弦脉宽调制 (SPWM) 控制方式; 电压空间矢量 (SVPWM) 控制方式; 矢量控制 (VC) 方式; 直接转矩控制 (DTC) 方式等。

2) 变频器选择。变频器在频率很低时 (3Hz) 具有可达 150% 的起动转矩, 适用于重载起动的场合。

①用于重载起动和频繁起动、制动运行的负载时, 变频器起动时变频器的容量计算

$$I_{fe} \geq (1.2 \sim 1.3) I_e \quad (5.12-1)$$

式中,  $I_{fe}$  为变频器的额定输出电流;  $I_e$  为电动机的额定电流。

#### ②直接起动时变频器的容量计算

$$I_{fe} \geq I_q/k_t = k_q I_e/k_t \quad (5.12-2)$$

式中,  $I_q$  为电动机直接起动电流;  $k_q$  为电动机直接起动的电流倍数, 约 5~7 倍;  $k_t$  为变频器允许过载倍数, 一般可取 1.5。

## 第13章 电动机起动设备特性及应用

电动机是把电能转换为机械能的设备。电动机的容量较大时,直接起动会给电网带来一些影响,如造成变压器容量选择过大,电源母线处的电压下降,严重时会影响电网的电能质量。因此需设置相应的电动机起动设备,来克服电动机起动时的影响。

### 1 直流电动机的起动

直流电动机工作原理:利用在磁场中的带电导体因受到电磁力的作用而产生运动,通过换相器适当改变通入导体电流的方向,将使转子沿轴旋转。

#### 1.1 直接起动

直流电动机起动时,应该给励磁回路通入额定励磁电流,在电机磁隙中建立额定磁场,然后再给电枢回路供电。

直流电动机机械特性的一般表达式

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_N} - \frac{(R_a + R)T}{C_e C_T \Phi_N^2} = n_0 - \beta T \quad (5.13-1)$$

$$U = E_a + I_a R_a \quad (5.13-2)$$

$$T_{st} = C_T \Phi_N I_{st} \quad (5.13-3)$$

直流电机直接起动时,由于初始速度  $n_0 = 0$ ,电枢反电动势  $E_a = 0$ ,此时起动电流  $I_{st} = U/R_a$ 。由于电枢电阻很小,起动电流可达到额定电流的10~20倍,使得电机换向严重恶化,甚至产生环火。起动力矩  $T_{st} = C_T \Phi_N I_{st}$ ,由于起动电流太大,产生很大的转矩,会造成机械冲击,损坏传动机构。因此,除了一些特殊的小型直流电动机由于电枢电阻  $R_a$  较大,可以直接起动外,一般直流电动机都不允许直接起动。

一般直流电动机的最大允许电流为  $1.5 \sim 2.0 I_N$ 。为限制起动电流可采用降低端电压起动或电枢回路串电阻起动。

#### 1.2 降压起动

降低电源电压  $U$ ,可使起动电流  $I_{st} = U/R_a = (1.5 \sim 2) I_N$ ,起动力矩  $T_{st} = C_T \Phi_N I_{st} = (1.5 \sim 2) T_N$ 。电动机接入电源后,开始起动,随着起动的进行,转速升高,  $E_a = C_e \Phi_N n$  增大,  $I_a = (U - E_a)/R_a$  下降,起动转矩  $T = C_T \Phi_N I_a$  随之下降。为了保证在起动过程中有足够的起动转矩,可逐渐升高电源电压直至  $U_N$ ,使得整个起动过程平均起动转矩基本不变。起动过程中电流基本不变,对配电系统引起的电压波动较小。降压起动是直流电机起动最常使用的方法,通常与电机调速装置配合使用。

#### 1.3 电枢回路串电阻起动

电枢回路串电阻  $R$ ,起动电流为  $I_{st} = U_N/(R_a + R)$ 。根据起动条件要求,对配电系统引起的波动限制、机械冲击的限制,确定所串入的电阻大小。为保持起动的平稳性,可逐段切除起动电阻;起动完成后,切除全部电阻。这种方式,起动设备简单,造价便宜。但起动过程中将有能量损失在串接电阻上,引起电阻发热,设备较大,且起动转矩随着电阻的切换发生跃变。

### 2 交流电动机的起动

交流电动机工作原理:利用旋转磁场使电动机的转子切割磁力线,在转子内产生感应电动势和感应电流,感应电流在磁场的作用下产生磁场力带动机械设备沿旋转磁场的方向转动。

交流电动机等效电路,如图5.13-1所示。

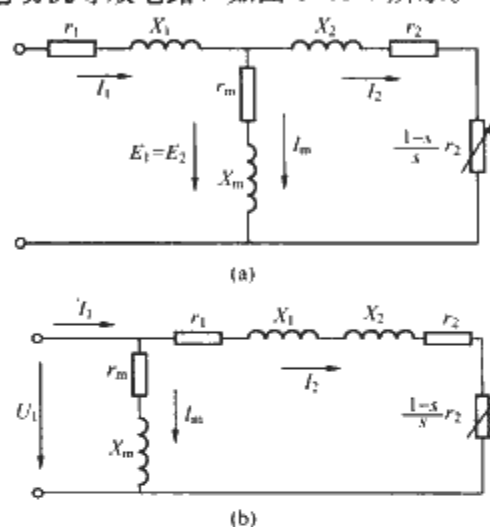


图5.13-1 交流电动机等效电路

(a) 异步电动机T形等效电路;

(b) 异步电动机简化等效电路

基本方程为

$$U_1 = E_1 + I_1(r_1 + jX_1) \quad (5.13-4a)$$

$$E_1 = I_m(r_m + jX_m) \quad (5.13-4b)$$

$$E_1 = E_2 \quad (5.13-4c)$$

$$E_2 = I_2(r_2 + jX_2) + I_2 \frac{(1-s)}{s} r_2 \quad (5.13-4d)$$

$$I_1 + I_2 = I_m \quad (5.13-4e)$$

式中,  $U_1$  为电源电压;  $E_1$  为励磁电动势;  $I_m$  为励磁电流;  $r_m$  为励磁电阻;  $X_m$  为励磁电抗;  $r_1$  为定子电阻;  $X_1$  为定子电抗;  $r_2$  为转子电阻;  $X_2$  为转子电抗;  $s$  为转差率。

力矩方程为

$$\text{电动机同步转速} \quad n_0 = \frac{60f_1}{p} \quad (5.13-5)$$

$$\text{电动机转差率} \quad s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (5.13-6)$$

$$\text{电动机功率} \quad P = T\Omega \quad (5.13-7)$$

电动机转矩

$$T = \frac{m_1 p}{2\pi f_1} \frac{U_1^2 \frac{r_2}{s}}{\left(r_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (5.13-8)$$

电动机临界转差率

$$s_m = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad (5.13-9)$$

电动机最大转矩

$$T_m = \frac{m_1 p U_1^2}{4\pi f_1} \frac{1}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad (5.13-10)$$

在一般的异步电动机中,通常  $r_1 \ll X_1 + X_2$ ,故有:

电动机临界转差率

$$s_m = \frac{r_2}{X_1 + X_2} \quad (5.13-11)$$

电动机最大转矩

$$T_m = \frac{m_1 p U_1^2}{4\pi f_1 (X_1 + X_2)} \quad (5.13-12)$$

电动机起动转矩

$$T_{st} = \frac{m_1 p}{2\pi f_1} \frac{U_1^2 r_2}{(r_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (5.13-13)$$

电动机起动电流

$$I_{st} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad (5.13-14)$$

电动机转矩简化表达式

$$T \approx 2T_m / (s/s_m + s_m/s) \quad (5.13-15)$$

式中,  $s_m$  为最大转差率;  $f_1$  为电源频率;  $T_m$  为电动机最大转矩;  $T$  为电动机转矩;  $T_{st}$  为电动机起动转矩;  $I_{st}$  为电动机起动电流;  $\Omega$  为机械角速度;  $P$  为电动机功率;  $p$  为电动机磁极对数;  $s_m$  为临界转差率;  $m_1$  为电源相数;  $s$  为转差率;  $n_0$  为电动机同步转速;  $n$  为电动机转速。

电动机在起动时, 由于转子初始转速为 0, 转子相对于磁场的切割速度很大, 因此会产生很大的感应电流, 造成电网的电压波动、大的力矩造成机械冲击。

电动机起动的基本要求: 电动机起动时, 其起动电流应能保证所拖动的机械要求的起动转矩, 对电动机本身端子的电压不做要求。但是在配电系统中引起的电压波动不应妨碍其他用电设备的工作。为此, 交流电动机起动时, 各级配电母线上的电压一般频繁起动条件下不宜低于 90%, 不频繁起动条件下不宜低于 85%。

## 2.1 笼型异步电动机的直接起动

当符合下列条件时, 可采用全压直接起动电动机。

1) 起动时, 各级配电母线上的电压一般频繁起动条件下不宜低于 90%, 不频繁起动条件下不宜低于 85%。通常电动机额定功率不超过电源变压器额定容量的 30%。

2) 所拖动的机械设备能承受全压直接起动冲击转矩。

3) 制造厂对电动机的起动方式无特殊要求。

异步电动机在设计时已考虑到直接起动时的电磁力和发热对电动机的影响。因此, 只要负载对起动过程要求不高, 而且供电电网允许的话, 可以采用设备简单、操作方便的直接起动方法。

## 2.2 笼型异步电动机的降压起动

由于直接起动的电流通常是额定电流的 4~7 倍, 经核定引起母线电压波动超过 15%, 或者所拖动的机械设备不能承受全压直接起动冲击转矩, 可采用降压起动。对笼型异步电动机而言, 降压起动的起动转矩小于全压起动, 起动时间大于全压起动。降压起动方式有星—三角起动、电阻降压起动、自耦变压器降压起动、软起动器降压起动等。

(1) 定子回路串三相对称电阻或电抗降压起动

定子回路串三相对称电阻或电抗降压起动线路如图 5.13-2 所示。

起动时接触器 1KM 闭合, 2KM 断开, 电动机定子绕组通过起动电阻  $r_Q$  或起动电抗  $x_Q$  接入电网, 起动电流在  $r_Q$  或  $x_Q$  上产生压降, 使定子绕组的相电压比额定电压减小了, 从而减小了起动电流。起动结束后, 切除  $r_Q$  或  $x_Q$ , 电动机进入正常工作状态。

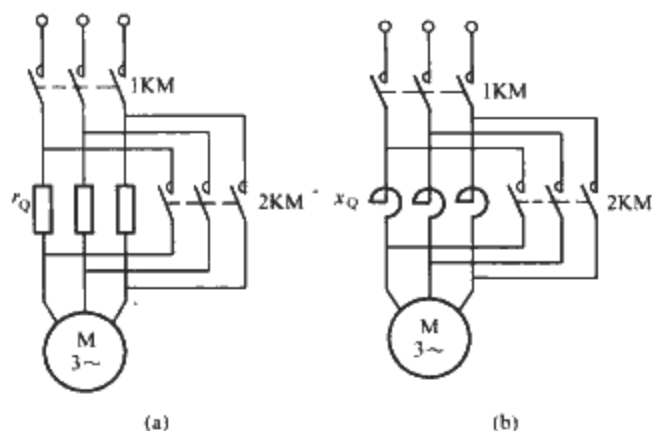


图 5.13-2 定子回路降压起动线路图

(a) 定子串电阻降压起动; (b) 定子串电抗降压起动

设定子回路串三相对称电阻或电抗时起动电流所需降低的倍数为  $K$ , 即  $K = I_{st}/I'_{st}$ 。全电压直接起动转矩为  $T_{st}$ , 起动转矩为  $T'_{st}$ , 电源电压为  $U_1$ , 定子绕组电压为  $U'_1$ , 则有  $U_1/U'_1 = I_{st}/I'_{st} = K$ , 根据起动转矩的式 (5.13-13) 可得

$$T_{st}/T'_{st} = (U_1/U'_1)^2 = K^2 \quad (5.13-16)$$

由此可知, 定子回路串三相对称电阻或电抗起动时, 电流降低  $K$  倍, 则起动转矩降低  $K^2$  倍, 所以采用此方法起动时, 一定要验算起动能力可否满足要求。通常用于空载或轻载起动。

异步电动机定子回路串电阻简化等效电路如图 5.13-3 所示。

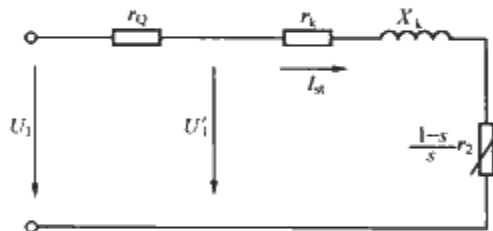


图 5.13-3 异步电动机定子串电阻降压起动简化等效电路

由图 5.13-3 和式 (5.13-14) 可知:

1) 定子回路不串三相对称电阻  $r_Q$  时, 电动机起动电流

$$I_{st} = \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}}$$

2) 定子回路串三相对称电阻  $r_Q$  时电动机起动电流

$$I'_{st} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_k + r_Q)^2 + x_k^2}}$$

因为

$$I_{st}/I'_{st} = K$$

所以

$$\frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}} = \frac{KU_1}{\sqrt{(r_k + r_Q)^2 + x_k^2}}$$

由此解得起动电阻  $r_Q$  为

$$r_Q = \sqrt{K^2 r_k^2 + (K^2 - 1) x_k^2} - r_k \quad (5.13-17)$$

同理可求得起动电抗  $x_Q$  为

$$x_Q = \sqrt{K^2 x_k^2 + (K^2 - 1) r_k^2} - x_k \quad (5.13-18)$$

定子串电阻起动要消耗较多的电能电阻上, 且电阻散热需要较大的散热面积, 很不经济。故适用于低压小功率电动机。定子串电抗起动主要用于高压大功率电动机。

(2) 星形—三角形起动

正常运行时定子绕组为三角形联结, 具有六个出线端子, 起动时, 接触器 1KM、3KM 闭合, 定子绕组接成星形, 电动机降压起动, 当电动机转速接近稳定转速时, 3KM 断开而 2KM 闭合, 定子绕组接成三角形, 起动过程结束。

分析电动机起动过程如下:

1) 定子绕组△联结时, 每相绕组起动电压等于额定电压,  $U_1 = U_{1N}$ , 每相绕组起动电流  $I_{1st} = U_1/Z_1$ , 电动机起动电流  $I_{st} = \sqrt{3}I_{1st}$ 。

2) 定子绕组Y联结时: 每相绕组起动电压  $U'_1 = U_{1N}/\sqrt{3}$ , 每相绕组起动电流  $I'_{1st} = U'_1/Z_1 = I_{1st}/\sqrt{3}$ , 电动机起动电流  $I'_{st} = I_{st}/\sqrt{3}$ 。综上所述, 可得

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (5.13-19)$$

$$\frac{I'_{1st}}{I_{1st}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (5.13-20)$$

$$\frac{I'_{st}}{I_{st}} = \frac{1}{3} \quad (5.13-21)$$

式中,  $U_1$  为△联结电动机每相绕组电压;  $U'_1$  为Y联结电动机每相绕组电压;  $U_{1N}$  为电源线电压;  $I_{st}$  为△联结电动机起动电流;  $I_{1st}$  为△联结电动机每相绕组起动电流;  $I'_{st}$  为Y联结电动机起动电流;  $I'_{1st}$  为Y联结电动机每相绕组起动电流;  $Z_1$  为电动机每相绕组阻抗。

式(5.13-19)~式(5.13-21)说明, Y-△起动时, 相电压和相电流降到直接起动的  $1/\sqrt{3}$  时, 对电网造成的冲击起动电流降到△联结起动电流的  $1/3$ 。由于  $T_{st} \propto U_1^2$ , △联结时的转矩为  $T_{st}$ , 则Y联结时的起动转矩为

$$T'_{st} = (U'_1/U_1)^2 T_{st} = T_{st}/3 \quad (5.13-22)$$

式(5.13-22)表明, Y联结起动的起动转矩为△联结起动的  $1/3$ 。可见, 这种起动方法较适用于用于空载或轻载起动。其特点是起动电流小、起动设备简单、价格便宜、运行可靠, 因此在工程中得到大量的使用。

### (3) 自耦变压器降压起动

笼型异步电动机降压起动的接线, 如图 5.13-4 所示。

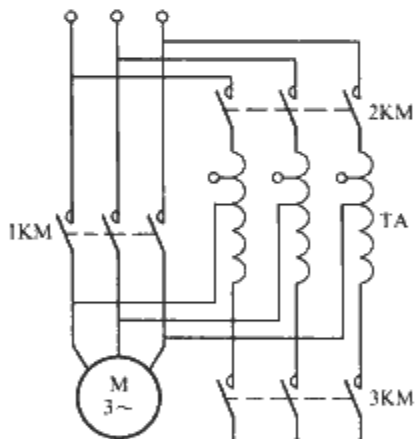


图 5.13-4 自耦变压器起动接线图

图 5.13-4 中 TA 为自耦变压器。起动时接触器 2KM、3KM 闭合, 自耦变压器一次侧加上额定电压, 由绕组抽头决定的二次电压加到定子绕组上, 电动机在低压下起动。当转速升高接近稳定转速时, 2KM、3KM 断开而 1KM 闭合, TA 脱离电网, 全电压加于定子绕组上, 起动结束。

设自耦变压器一次侧加上额定相电压  $U_1$ , 二次相电压为  $U'_1$ , 其每相电路原理如图 5.13-5 所示。则自耦变压器的

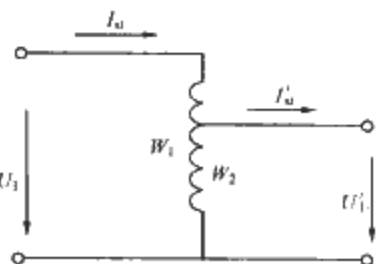


图 5.13-5 自耦变压器降压起动的每相电路图

变比  $k$  为:  $k = U'_1/U_1 = W_1/W_2$ 。

当电动机采用自耦变压器降压起动时, 加于电动机两端的相电压为  $U'_1 = U_1/k$ , 由于  $I \propto U$ , 电动机的定子起动电流  $I'_{st}$  即自耦变压器二次相电流, 为电动机全压起动电流  $I_{st}$  的  $1/k$ , 即  $I'_{st} = I_{st}/k$ 。因为电动机是接在自耦变压器二次侧, 其一次电流  $I_1$  应是二次电流的  $1/k$ , 即

$$I_1 = I'_{st}/k = I_{st}/k^2 \quad (5.13-23)$$

起动转矩  $T'_{st}$  与全压起动转矩  $T_{st}$  关系为

$$T'_{st}/T_{st} = (U'_1/U_1)^2 = 1/k^2 \quad (5.13-24)$$

由上式可知, 采用自耦变压器将电压降到额定电压的  $1/k$  倍, 则起动电流和起动转矩均为直接起动的  $1/k^2$  倍。不难看出, 与定子回路串电阻或电抗降压起动相比, 电动机起动转矩相同时, 自耦变压器所需电流较小。

用于降压起动的自耦变压器, 二次绕组通常备有三组抽头供选用。如 QJ2 型有 55%、64%、73% 三组抽头, QJ3 型有 40%、60%、80% 三组抽头, 以满足不同的起动电流和起动转矩的要求。

自耦变压器降压起动广泛用于容量较大的低压电动机的起动, 其优点是电压抽头可供不同负载选择; 但体积大、质量重、价格高、需经常维护检修。

起动用自耦变压器的容量可选择与电动机的额定功率相同, 但它是按短时工作制来设计的, 每小时允许连续起动次数和每次起动时间均有明确规定, 不能超过。如电动机要求连续起动次数  $n$  较多, 每次起动时间  $t$  较长, 总的起动时间超过最大允许时间  $T$  时, 则必须选择较大容量的自耦变压器, 即

$$P_{TA} \geq P_d k_i n / k^2 T \quad (5.13-25)$$

式中,  $P_{TA}$  为自耦变压器容量;  $P_d$  为电动机额定容量, kVA;  $k_i$  为电动机起动电流倍数。

### (4) 软起动器降压起动

软起动器降压器是在 20 世纪 90 年代, 随着电力电子元件及其控制技术的成熟发展起来的高性能、智能化的电动机起动设备。它可以实现笼型异步电动机的无级平滑起动, 可方便地调节最大起动电流和起动时间, 特别适用于负载无法承受突然冲击起动的场合。其缺点是起动时供给电动机的电流是非正弦波, 存在高次谐波, 对电网和周围电气设备造成电磁干扰。

软起动器的实质仍然是降压起动, 其起动电流、起动力矩的变化, 由式(5.13-8)、式(5.13-13)及式(5.13-14)得

$$T = \frac{m_1 p}{2\pi f_1} \frac{U_1^2 \frac{r_2}{s}}{\left(r_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2)^2}$$

说明: 电动机的起动电流与电压成正比; 电动机的力矩与电压的二次方成正比。使加在电动机上的电压, 按照一定的规律变化, 即可控制电动机的力矩和电流, 从而实现理想的起动。

软起动器的主回路通常采用由晶闸管组成的三相交流调压电路, 串接于电动机的供电线路上, 如图 5.13-6 所示。起动时, 接触器 1KM 闭合, 接入软起动器, 按预先设定的模式, 通过同步触发电路, 改变晶闸管的导通角, 调节输出电压, 实现电动机的起动过程。起动过程结束后, 断开 1KM, 接通旁路接触器, 使电动机直接接于供电线路, 减少损耗。

目前, 软起动器有以下几种起动方法:

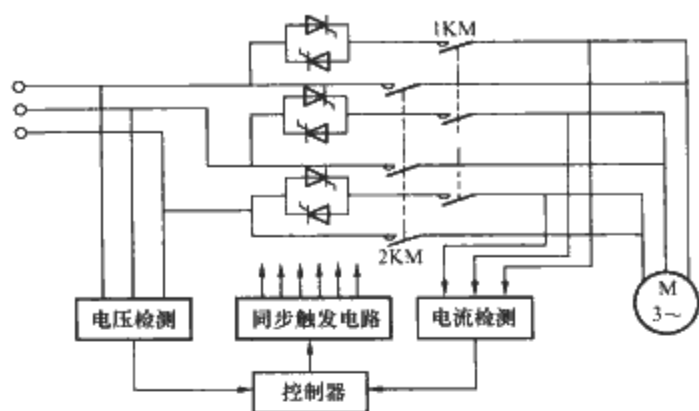


图 5.13-6 软起动其控制原理图

1) 限流软起动。在电动机起动过程中限制起动电流，不得超过设定值  $I_m$ ，主要用于轻载起动。优点是起动电流小，可根据需要调整，对电网电压影响小；缺点是起动转矩不能保持最大，起动时间相对较长。

2) 电压双斜坡起动。输出电压按线性先迅速升至电动机起动所需的最小电压值；然后按设定速率逐渐升压，直至达到额定电压。其特点是起动电流相对较大，且起动时间较短，负载无冲击，适用于重载起动。

3) 转矩控制起动。按电动机的起动转矩线性上升的规律控制输出电压，用于重载起动。优点是起动平滑，减少对电网的冲击，缺点是起动时间较长。

4) 加突跳转矩控制起动。起动瞬间加突跳转矩，克服机械设备的静转矩，机械动起来以后，改变转矩给定值使其平滑升速。适用于重载起动。优点是起动时间短。缺点是突跳转矩对电网带来冲击，干扰其他负载。

5) 电压控制起动。控制电压以保证电动机获得适当的起动转矩，尽可能的缩短起动时间，是最优的轻载起动方式。

随着电力电子技术的发展，大功率电力电子元件日趋成熟，软起动器的造价成本必将降低，由于软起动器体积小、功能强、控制方式多且改变灵活，因此在实际使用过程中，当笼型异步电动机不能直接起动时，应优先考虑采用软起动器起动。

### 2.3 绕线转子三相异步电动机的起动

绕线转子三相异步电动机转子电路可外串三相对称阻抗，以减小起动电流及增大起动转矩，起动结束后切除外串阻抗。所以，它可用于重载和频繁起动的生产机械上，主要有下述两种起动方法。

#### (1) 转子串频敏变阻器起动

对于单纯为了限制起动电流、增大起动转矩的绕线转子异步电动机，可采用转子串频敏变阻器起动。

频敏变阻器的铁心是由几片或十几片厚度为 30~50mm 的钢板叠成，三根铁心柱上绕着接成星形的三相绕组组成。频敏变阻器的每相等效电路如图 5.13-7 所示，其中  $r_p$  为绕组电阻， $x_{mp}$  为带铁心绕组的电抗， $r_{mp}$  为反映铁损耗的等效电阻。频敏变阻器铁心叠片厚，铁损耗大，故  $r_{mp}$  之值比一般电抗器大。当电动机起动时，转子频率高，与频率平方成正比的涡流损耗更大， $r_{mp}$  比  $x_{mp}$  大得多，相当于转子串入一个比较大的电阻，使  $I_{st}$  小而  $T_{st}$  大。随着转速升高， $f_2$  变小，涡流损耗小， $r_{mp}$  变小；电抗  $x_{mp} = 2\pi f_2 L_{mp}$  也小， $L_{mp}$  为绕组电感。在整个起动过程中  $r_{mp}$  与  $x_{mp}$  都自动减小，始终使电动机保持较大的起动转矩。起动结束， $f_2$  很低，频敏变阻器的阻抗亦很小，但为了免除其在运行中产生的不必

要损耗，应将集电环短接，切除频敏变阻器。

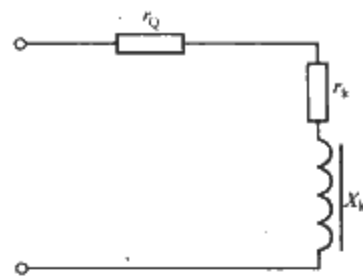


图 5.13-7 频敏变阻器每相电路图

频敏变阻器结构简单，运行可靠，无需经常维护，价格便宜；但功率因数低，与转子串电阻起动相比，起动转矩小、最大转矩略有下降，适用于频繁起动不需调速的生产机械。

#### (2) 转子串三相对称电阻分级起动

绕线转子异步电动机转子回路串三相对称电阻起动时，相当于增大转子绕组电阻值，由式 (5.13-12) 和式 (5.13-9) 可知：最大转矩与转子电阻无关，转子绕组串入电阻后  $T_m$  保持不变。但临界转差率  $s_m$  随着转子绕组电阻的增大成正比地增加，其机械特性见图 5.13-8。

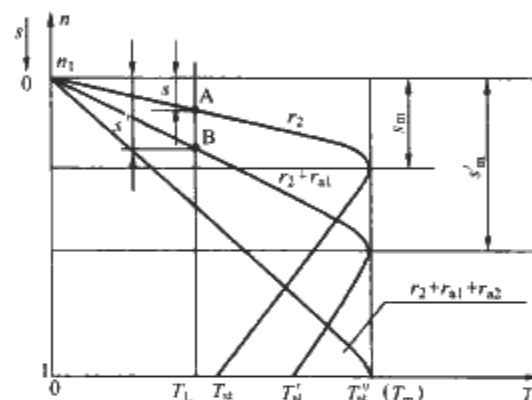


图 5.13-8 绕线转子异步电动机转子回路串三相对称电阻的人为机械特性

当电动机其他参数不变时，在转子绕组中串接电阻  $r_a$  前后，若要保持转矩不变，由式 (5.13-8) 可知，必须保证  $r_2/s = (r_2 + r_a)/s'$  不变才行。由此可得，转子外串电阻值为

$$r_a = (s'/s - 1)r_2 \quad (5.13-26)$$

由式 (5.13-13) 可知，起动转矩随着转子电阻的增大而增大。

采用分级切除起动电阻的方法，可以提高平均起动转矩和减小起动电流与起动转矩的冲击。

由于异步电动机机械特性曲线为非线性，很难准确算出各级起动电阻值。为简化计算，在  $0 < s < s_m$  范围内的机械曲线可视作直线，其误差并不大；根据电动机转矩简化表达式  $T \approx 2T_m/(s/s_m + s_m/s)$ ，当  $s/s_m \ll s_m/s$  时，可用机械特性近似表达式  $T = 2T_m s/s_m$  计算各级起动电阻。

由机械特性近似表达式可见，当  $s$  不变时， $T$  与  $s_m$  成反比， $T \propto 1/s_m$ ，根据式 (5.13-9) 可推知，临界转差率与每相转子电路总电阻  $R$  成正比， $s_m \propto R$ 。因此可得  $T \propto 1/R$ 。

它说明在转速不变即转差率  $s$  不变时， $T$  与每相转子电路电阻成反比。

绕线转子异步电动机转子串电阻分级起动的优点是：可获得最大的起动转矩，起动时功率因数高，起动电阻可兼作调速电阻。但如要求平均起动转矩尽量大，则起动级数就多，使起动设备增多，投资增大，维修不太方便，起动过程中有大量的能量消耗在串接电阻上。



### 3 变频调速起动

笼型异步电动机,量大、面广、使用效率及性价比高、制造方便,但对其调速控制,始终没有较好的方法。直到20世纪80年代成熟的商品化的变频装置问世以后,这个问题才得到很好的解决。目前采用的方法很多,有PWM脉宽调制技术、矢量控制技术、模拟控制、计算机数字控制等,但是万变不离其宗,其核心理论,仍然是通过改变电源频率来调节电机的速度。如三相异步电动机有调速要求,亦可结合调速设备采用变频的方式起动。

#### 3.1 变频调速原理

由电机学的基本公式  $n_0 = 60f/p$  可知,在磁极对数  $p$  一定的条件下,改变电源频率  $f$ ,即可改变电动机的同步转速。异步电动机的实际转速总低于同步转速,而且随着同步转速而变化。电源频率增加,同步转速  $n_0$  也增加,实际转速也增加;电源频率下降,同步转速  $n_0$  也下降,实际转速也降低,这种通过改变电源频率实现的电机速度调节过程称为变频调速。

变频调速控制方式基本上有两种。电源频率低于基频范围调速;电源频率高于基频范围调速。

##### (1) 电源频率低于基频范围调速

异步电动机的额定频率称为基频,即电网电源频率,在我国为50Hz。电机定子绕组内感应电动势为

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 W K_{W1} \Phi_1 \quad (5.13-27)$$

式中,  $E_1$  为定子绕组感应电动势;  $\Phi_1$  为气隙磁通;  $f_1$  为电源频率;  $W$  为定子每相绕组匝数;  $K_{W1}$  为基波绕组系数。

在变频调速时,如果只降低定子频率  $f_1$ ,而定子每相电压保持不变,则必然会造成  $\Phi_1$  增大。由于电动机制造时,为提高效率减少损耗,通常在  $U_1 = U_N$ 、 $f_1 = f_N$  时,电动机主磁路已接近饱和,增大  $\Phi_1$  势必使主磁路过饱和,这将导致励磁电流急剧增大,铁损耗增加,功率因数下降。

1) 使  $E_1/f_1$  保持不变。根据式(5.13-27),若在降低  $f_1$  的同时,亦降低  $U_1$ ,使  $E_1/f_1$  保持不变,则可保持  $\Phi_1$  不变,从而避免了主磁路过饱和现象的发生。这种控制方式为恒磁通控制。此时电动机的电磁转矩

$$T = \frac{m_1 p f_1}{2\pi} \left( \frac{E_1}{f_1} \right)^2 \frac{\frac{r_2}{s}}{\left( \frac{r_2}{s} \right)^2 + x_2^2} \quad (5.13-28)$$

由于  $s$  较小,可近似认为  $(r_2/s)^2 \gg x_2^2$ , 则有

$$T = \frac{m_1 p}{2\pi} \left( \frac{E_1}{f_1} \right)^2 \frac{f_1 s}{r_2} = K f_1 s \quad (5.13-29)$$

式中,  $K = \frac{m_1 p}{2\pi r_2} \left( \frac{E_1}{f_1} \right)^2$ 。

由此可知,若频率  $f_1$  不变,则  $T \propto s$ ; 若  $T$  不变,则  $s \propto 1/f_1$ 。

转矩为  $T$  时,对应的速降为

$$\Delta n = n_0 - n = s n_0 = \frac{T}{K f_1} \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 T}{K p} \quad (5.13-30)$$

上式表明,若  $T$  不变,不管  $f_1$  如何变化,  $\Delta n$  都相等。这说明,不同频率  $f_1$  对应的各条机械特性是互相平行的。根据力矩方程可求出最大值。

电动机临界转差率

$$s_m = r_2/x_2 = r_2/(2\pi f_1 L_2) = k/f_1 \quad (5.13-31)$$

式中,  $L_2$  为转子电感值。

电动机最大转矩

$$T_m = \frac{m_1 p}{4\pi} \left( \frac{E_1}{f_1} \right)^2 \frac{1}{2\pi L_2} = \text{常数} \quad (5.13-32)$$

$$\Delta n_m = s_m n_0 = k/f_1 \times 60 f_1/p = 60k/p = \text{常数} \quad (5.13-33)$$

由此可见,基频以下变频调速时,若保持  $E_1/f_1 = \text{常数}$ ,最大转矩及最大转矩处的转速降落均等于常数,与频率无关。因此不同频率的各条机械特性曲线是平行的,硬度相同,如图5.13-9所示。

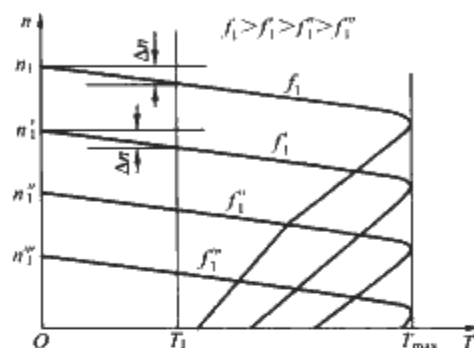


图5.13-9 保持  $E_1/f_1 = \text{常数}$ 、变频调速时的机械特性

2) 使  $U_1/f_1$  保持不变。  $U_1/f_1$  保持不变的调速,这种控制方式是近似恒磁通控制方式。

由力矩方程

$$T = \frac{m_1 p f_1}{2\pi} \left( \frac{E_1}{f_1} \right)^2 \frac{\frac{r_2}{s}}{\left( r_1 + \frac{r_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

得到电动机最大转矩

$$T_m = \frac{m_1 p}{4\pi} \left( \frac{U_1}{f_1} \right)^2 \frac{f_1}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad (5.13-34)$$

电动机临界转差率

$$s_m = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad (5.13-35)$$

从上式看出,保持  $U_1/f_1$  为常数,在基频以下变频调速时,  $T_m$  已不是常数,它随着  $f_1$  降低而减小。显然保持  $U_1/f_1$  为常数变频调速时,过载能力随频率下降而降低,特别是在低频低速运行时,还可能会拖不动负载。

##### (2) 电源频率高于基频范围调速

在基频以上变频调速时,定子频率  $f_1$  大于额定频率  $f_N$ ,要保持  $\Phi_1$  恒定,定子电压将高于额定值,通常这是不允许的。因此,基频以上变频调速时,只能保持  $U_1$  为额定电压不变。这样,随着  $f_1$  升高,磁通  $\Phi_1$  必然会减小,这是降低磁通的调速方法。

$f_1 > 50\text{Hz}$  升频时,  $X_1 + X_2$  随之增大,此时  $r_1 \ll X_1 + X_2$ ,可忽略。则最大转矩  $T_m$  及对应的临界转差率  $s_m$  分别为

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{m_1 p}{4\pi} \left( \frac{U_1}{f_1} \right)^2 \frac{f_1}{X_1 + X_2} \\ &= \frac{m_1 p}{4\pi} \frac{U_1^2}{f_1^2} \frac{1}{2\pi (L_1 + L_2)} \propto 1/f_1^2 \end{aligned} \quad (5.13-36)$$

$$s_m = \frac{r_2}{X_1 + X_2} = \frac{r_2}{2\pi f_1 (L_1 + L_2)} \propto 1/f_1 \quad (5.13-37)$$

最大转速时的转速降

$$\Delta n_m = s_m n_1 \approx \frac{r_2}{2\pi f_1 (L_1 + L_2)} \frac{60 f_1}{p} = \text{常数} \quad (5.13-38)$$

由以上可知,当 $U_1 = U_N$ 不变, $f_1 > 50\text{Hz}$ 变频调速时, $T_m$ 将与 $f_1^2$ 成反比减小; $s_m$ 与 $f_1$ 成反比减小;而 $\Delta n_m$ 则保持不变,即不同频率下各条机械特性曲线近似平行,其机械特性曲线如图 5.13-10 所示。

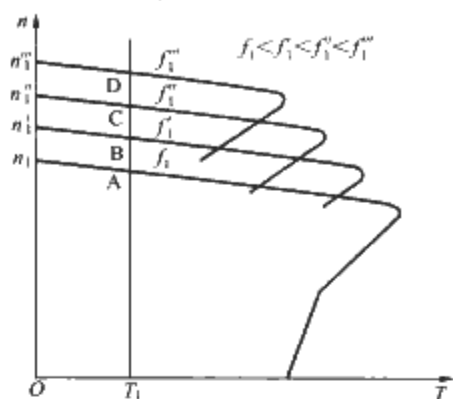


图 5.13-10 保持 $U_1 = U_N$ 不变的变频调速机械特性曲线图

正常运行时, $s$ 很小, $r_2/s$ 比 $r_1$ 及 $X_1 + X_2$ 都大很多,忽略 $r_1$ 及 $X_1 + X_2$ ,则电磁功率可表示为

$$P_M = m_1 I_2'^2 \frac{r_2}{s} = \frac{m_1 U_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{r_2}{s} \approx m_1 U_1^2 \frac{s}{r_2} \quad (5.13-39)$$

调速时,因为保持 $I_1$ 不变,则不同频率下 $s$ 变化不大,可近似认为不变,因此, $P_M \approx$ 常数,可近似认为属于恒功率调速。

### (3) 三相异步电动机变频调速的特点

1) 由基频向下变频调速,保持 $E_1/f_1$ 不变,为恒磁通变频调速,属于恒转矩调速方式;保持 $U_1/f_1$ 不变,为近似恒磁通变频调速,属于近似恒转矩调速方式。

由基频向上变频调速,保持 $U_1$ 不变, $f_1$ 升高, $\Phi_1$ 下降,为弱磁变频调速,属于恒功率调速方式。

2) 机械特性曲线基本平行,特性曲线较硬,调速范围宽,转速稳定性好。

3) 运行时 $s$ 变化小,转差功率损耗小,效率高。

4) 频率连续可调,能实现无级调速,调速平滑性好。

## 3.2 变频调速起动

变频调速起动其实是变频调速过程的一种特殊状态,此时, $n=0$ ; $s=1$ 时的力矩为起动力矩 $T_{st}$ 、电流为起动电流 $I_{st}$ 。等效电路如图 5.13-11 所示。

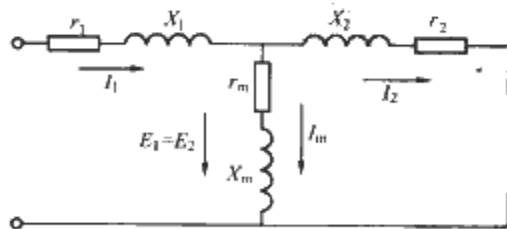


图 5.13-11 异步电动机直接起动等效电路

由图 5.13-11 可知,电磁功率

$$P_M = m_1 I_2'^2 \frac{r_2}{s} = \frac{m_1 U_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{r_2}{s}$$

电动机转动角速度 $\omega = 2\pi f_1 / p$

电磁力矩

$$T = P/\omega = \frac{m_1 p f_1}{2\pi} \left(\frac{U_1}{f_1}\right)^2 \frac{1}{\left(r_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{r_2}{s}$$

当 $n=0$ , $s=1$ 时,电动机起动转矩为

$$T_{st} = \frac{m_1 p f_1}{2\pi} \left(\frac{U_1}{f_1}\right)^2 \frac{r_2}{(r_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} = K_1 f_1 \quad (5.13-40)$$

电动机起动电流

$$I_{st} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} = K_2 U_1 \quad (5.13-41)$$

由上节分析可知:由基频向下变频调速,通常采用同时改变电压 $U_1$ 和频率 $f_1$ ,但保持 $U_1/f_1$ 不变,为近似恒磁通变频调速方法,属于近似恒转矩调速方式。

保证电动机正常起动的基本条件:①电动机起动转矩 $T_{st}$ 必须大于所拖动负载转矩;②电动机起动电流 $I_{st}$ 必须满足电网波动的要求。

由以上两式知:若要满足条件①并不难。只要在保证 $U_1/f_1$ 不变的前提下,改变电源频率 $f_1$ ,使 $T_{st} > 1.1 \sim 1.3 T_l$ 即可保证起动。具体需要多大,视负载能承受冲击力矩而定。若要满足条件②亦不难。只要在保证 $U_1/f_1$ 不变的前提下,改变电源电压 $U_1$ ,控制起动电流 $I_{st}$ ,使其对电网造成的波动在允许范围之内即可。在起动过程通过无级改变电压 $U_1$ 和频率 $f_1$ ,可保证转矩恒定,起动平稳,减少对负载的冲击。

但要注意:一般变频器的过电流能力控制在 1.5 倍额定电流,所以起动力矩受到限制,若负载静力矩太大,有可能起动失败。解决的办法是加大变频器的容量。

综上所述,用变频器可以完全满意的起动电动机,但仅为了电动机的起动就使用变频器,有点得不偿失,因为目前变频器的价格仍然很高。通常都是结合电动机的调速要求,采用变频调速的方法,从而也兼顾了起动的要求。

## 3.3 变频调速的应用

在工业和民用的许多部门,都离不开电力传动系统。由于考虑到生产机械在各种情况下的工作运行,配用的拖动电动机功率一般定位在最大工作能力情况下,而大量的生产场合由于功率需求始终处于变动之中,在恒定转速拖动时,无法进行拖动功率与实际功率需求的匹配平衡。这就导致了大量的电动机处于轻载运行,使电能利用率低,电耗大、浪费电能现象严重。所以许多场合,在电力传动系统中加入调速控制,根据拖动负载实际需求,改变电动机的转速达到最佳配合,可减少电能的浪费和损耗。变频调速与其他传统的调速系统如变极调速、调压调速、串级调速、滑差调速等相比具有明显的优势。

### (1) 变频调速在供水系统中的应用

传统的供水系统采用高位水箱、气压罐供水方式,高位水箱式占用空间、增加质量、容易造成二次污染、水压不稳。气压罐供水方式,存在漏气泄压现象严重的问题,导致电动机频繁起动,效率低、浪费电能。应用变频调速设备调节水量,是一种完全匹配的供水方式,通过改变水泵电机的供电频率,调节水泵转速,通过压力传感器检测供水压力并加以控制,保证在用水量变化时,供水量也随之变化,实现供水量的匹配,保证供水的压力恒定即为恒压供水。这种方式,无需其他辅助面积和设备,占地少。用水高峰期,用水量大,电动机高速运转;用水低谷期,用水量小,电动机低速运转,减少从电网吸取的功率,节约能源,实现了按需供水。

### (2) 变频调速在中央空调系统的应用

中央空调系统一般有冷冻机主机、冷冻水系统、冷却水

系统组成。冷冻机主机是整个装置的冷源。冷冻水系统是将通往各个房间或场所的循环水由冷冻机降温为冷冻水。冷却水系统是通过冷却水、室外冷却塔循环，将冷冻机在制冷的过程中本身产生的热量散发到大气中去。冷冻水、冷却水的水温均可通过控制水的流量、流速得到很好的控制。变频调速具有良好的无级调速性能，因此在中央空调系统中得到广泛的应用。

除此之外，变频调速在轧钢、风机、电力、机械加工、化工工业等也得到了大量的应用。

### 3.4 变频器的选择

通常变频器以适用的电机容量(kW)、输出容量(kVA)、额定输出电流(A)表示。其中额定电流为变频器允许的最大连续输出电流的有效值，无论什么用途电流都不能连续超出此值。

输出容量为额定输出电压及额定输出电流时的三相视在输出功率。根据实际情况，此值只能作为变频容量的参考值。因为随着输入电压的降低，此值无法保证。不同厂家的变频器适用同样的电机容量，而其输出容量则有较大的差距，根本问题在于同一电压等级的变频器输出容量(kVA)的计算电压不同。因此，不同厂家适合同一容量电机的变频器的输出量无可比性，容易引起误会。

#### (1) 根据电动机电流选择

不同厂家的电动机，不同系列的电动机，不同极数的电动机，即使同一容量等级，其额定电流也不尽相同。不同极数电动机的额定电流参考值见表5.13-1。

表 5.13-1 不同极数电动机的额定电流参考值

电动机 功率 (kW)	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55	75	90	110	132
电动机 极数/电流													
4极/ $I_N$	15.5	21	29	36.8	43.7	58	70	84	105	136	162	200	235
6极/ $I_N$	18	26	34	38	45	60	72	85	108	140	168	205	245
8极/ $I_N$	19	26	36	39	47	63	76	92	118	153	182	220	265

变频器生产厂家给出的数据，都是对4极电机而言的。6极电机或多极电机传动，不能单纯以电机容量为选择变频器的标准。还应符合下列条件

$$I_0 \geq \sum nk I_N \quad (5.13-42)$$

式中， $I_0$ 为变频器的额定输出电流，A； $n$ 为并联电动机的台数； $k$ 为系数（一般为 $k=1.1$ ）； $I_N$ 为电动机的额定电流，A。

#### (2) 过载容量

根据负载不同的类型往往需要过载能力大的变频器，比如200%过载，60s。但通用变频器过电流能力通常为在一个周期内允许125%或150%过载，60s。超过过载值就必须增大变频器的容量。

#### (3) 过载频度

通用变频器规定125%，60s或150%，60s的过载能力

的同时，还规定了工作周期，有的厂家规定300s为一个过载周期，而有的厂家规定600s为一个过载周期，严格按照规定运行，变频器就不会过热。

同时，大多数厂家给出的电流过载倍数是在规定的工作周期内，允许长期连续电流，即以额定输出电流为基础。但也有个别公司在标明电流过载150%，60s的同时指出，其基础电流为额定输出电流的91%。也就是说，当传动设备刚投入运行时，允许过载额定输出电流的150%，60s，而后一个工作周期中仍然需要过载150%，60s，则必须保证过载前的负载电流不大于91%额定电流，此时过载实为额定输出电流的136%。

在一定周期内限制过电流的倍数及时间，主要是限制变频器超过最大允许温升，因此，在规定周期内过电流时间短，可以提高过电流能力，如：180%，20s，过电流能力不变，如要缩短工作周期，则必须加大变频器的容量；频繁起制动的生产机械，其工作周期远短于规定周期。一般选用变频器的容量应比电动机容量大1~2个等级。

#### (4) 电动机轻载运行

电动机的实际负载比电动机的额定输出功率小很多时，一般认为可选择与实际负载相称的变频器容量，然而这是不合适的。因为：①电机在空载时也流过额定电流30%以上的励磁电流。②起动电流与电动机施加的电压、频率相对应，而与负载转矩无关。如果变频器容量选的太小，则可能出现起动电流超过变频器允许的电流，而不能起动的现象。③电机容量大，负载小，按实际负载电流选择变频器供电时，脉动电流值增大。因而，可能出现超过变频器的过电流能力，而不能运行的情况。

#### (5) 按负载性质选择

用变频器传动电机与用正弦波传动的电动机相比，由于变频器输出波形中含有高次谐波的影响，电动机的功率因数、效率均将恶化，温升升高。另一方面，变频传动时要得到与工频电源传动时同样的转矩，变频器输出电流的基波有效值通常要等于工频电源的有效值。变频器输出电流由基波电流与高次谐波电流叠加合成。因此，变频器传动时电机的基本特性将不同于工频电源传动。

利用电动机的等效电路可求得空载电流为

$$I_0 = \sqrt{I_{01}^2 + \sum I_{0k}^2} \quad (5.13-43)$$

式中， $I_{01}$ 为定子空载基波电流； $I_{0k}$ 为定子空载 $k$ 次谐波电流。

式(5.13-43)表明，变频传动比工频传动的空载电流要大，其中，定转子铜损和与载波频率有关的铁损是高次谐波引起损耗增大的主要原因。高次谐波分量引起的损耗增大与负载的大小无关，大体上与空载一样，基本为一定值。因此，负载越轻，谐波损耗增加的影响越大，引起功率因数降低，效率下降，温升升高。

通常电动机额定运转（输出额定电压、频率及功率）时，变频器供电的电动机电流比工频供电的电动机电流约增加16%，温升增加20%。因此，变频器供电时普通电动机不宜在额定频率下满载运行。

# 第14章 电 击 防 护

## 1 直接接触和间接接触两者兼有的防护

### 1.1 不接地回路 (SELV) 和接地回路 (PELV)

(1) 具备电击防护应满足的条件

1) 标称电压不超过电压区段 I (详见 GB/T 18379—2001) 的上限。

2) 由符合 SELV 和 PELV 的电源之一供电。

3) 满足回路配置要求的所有条件, 此外还满足以下条件之一: 用于不接地回路 (SELV) 的规定, 或用于接地回路 (PELV) 的规定。

(2) SELV 和 PELV 的电源应符合的要求

1) 符合 GB 1921201—2003 的要求。

2) 安全程度与第一款规定的安全隔离变压器相当的电源 (如有等效绝缘绕组的电动发电机)。

3) 电化学电源 (如电池组) 或与更高电压回路无关的其他电源 (如柴油发电机)。

4) 已经采取措施保证即使发生内部故障也能使出线端子的电压不超过电压区段 I 上限规定数值的某些符合相应标准的电子器件。如能保证在直接接触和间接接触时, 出线端子的电压立即降低到上述值或更低, 则允许出线端子有更高电压。

5) 诸如安全隔离变压器或电动发电机那样的移动电源, 应按 II 类设备或等效绝缘的防护要求选择或安装。

### 1.2 回路的配置

1) SELV 和 PELV 回路的带电部分相互之间和与其他回路之间, 应进行电气隔离。配置应保证电气隔离水平不低于安全隔离变压器的输入和输出回路之间的隔离水平。

2) 每个 SELV 和 PELV 系统的回路导体最好应与其他任何回路导体物理上分开。当此要求无法实现时, 需要采用以下配置之一。

①除基本绝缘外, SELV 和 PELV 回路导体还应封闭在非金属护套内。

②电压不同的回路导体采用接地的金属屏蔽或接地的金属护套隔开。

③电压不同的回路可以包含在一个多芯电缆或导体组内, 但 SELV 和 PELV 回路导体应单独地或集中地按其中存在的最高电压绝缘。

3) SELV 和 PELV 系统的插头和插座应符合以下要求。

①插头应不能插入其他电压系统的插座。

②插座应不能被其他电压系统的插头插入。

③插座应没有保护导体触头。

### 1.3 对 SELV 不接地回路的要求

1) SELV 回路的带电部分不应与地或其他回路一部分的带电部分或保护导体相连接。

2) 外露可导电部分不应有意与以下部分连接: ①地; ②其他回路的保护导体或外露可导电部分; ③外部可导电部分, 除电气设备原本需要与之连接, 且保证这些部分的电压不会达到电压区段 I 上限规定的标称电压<sup>①</sup>。

3) 如果标称电压超过交流方均根值 25V 或无纹波直流 60V, 直接接触防护应由以下方法实现:

①设置防护等级至少为 IPXXB 或 IP2X 的遮栏或外护物。

②设置能承受交流方均根值为 500V、时间为 1min 的电压耐受试验的绝缘。

如果标称电压不超过交流方均根值为 25V 或无纹波直流 60V, 一般不需要直接接触防护; 但是在某些外界影响条件下可能需要 (在考虑中)<sup>②</sup>。

### 1.4 对 PELV (接地回路) 的要求

当回路接地和不需要符合对 SELV 的要求时, 应该满足以下要求。

1) 直接接触防护应至少采取以下措施之一:

①设置防护等级至少为 IPXXB 或 IP2X 的遮栏或外护物。

②设置能承受交流方均根值为 500V、时间为 1min 电压耐受试验的绝缘。

2) 当建筑物内外已按相关标准设置总等电位联结, PELV 系统的接地配置和外露可导电部分已用保护导体连接到总等电位联结上, 而且标称电压不超过以下数值时, 不需要符合相关标准的直接接触防护:

①设备通常只使用在干燥场所, 且预计人体不会大面积触及带电部分时, 交流方均根值为 25V 或无波纹直流为 60V。

②所有其他情况, 交流方均根值为 6V 或无波纹直流为 15V<sup>③</sup>。

### 1.5 FELV 系统

当由于功能上的原因使用了区段 I 的电压, 但有关 SELV 或 PELV 的所有要求不能满足时, 或当不需要 SELV 或 PELV 时, 应该采用以下辅助措施, 以保证直接和间接接触两者兼有的防护。这种方法的组合称为 FELV<sup>④</sup>。

1) 直接接触防护应至少采取以下措施之一。

①装设符合规定的遮栏或外护物。

① 如果 SELV 回路的外露可导电部分容易无意或有意接触其他回路的外露可导电部分, 则电击防护不再单纯依靠 SELV 保护, 还要依靠易接触的其他回路的外露可导电部分所采用的保护措施。

② “无纹波”一词按惯例定义为纹波含量不超过正弦波电压方均根值的 10%; 标称电压 120V 的无纹波直流系统的最大峰值电压不超过 140V, 标称电压 60V 的无纹波直流系统的最大峰值电压不超过 70V。

③ 回路的接地可以通过电源自身内适当的接地来实现。

④ 例如, 回路中含有与较高电压的回路未能充分绝缘的设备 (诸如变压器、继电器、遥控开关、接触器) 时, 这种情况是可能遇到的。

②采用与一次回路所要求的最低试验电压相当的绝缘。

但当属于 FELV 回路的一部分的设备的绝缘不能耐受一次回路所要求的试验电压时,则设备可触及的非导电部分的绝缘应在安装时加强,使其能耐受交流方均根值为 1500V,时间 1min 的试验电压。

2) 间接接触防护应至少采取以下措施之一:

①当一次回路采用规定的自动切断电源的一种防护措施时,将 FELV 回路中的设备外露可导电部分与一次回路的保护导体连接;此时 FELV 回路中的带电导体不排除与该一次回路保护导体的连接。

②当一次回路采用规定的电气隔离防护时,将 FELV 回路中的设备外露可导电部分与一次回路的不接地等电位联结导体连接。

3) FELV 回路的插头和插座应符合下述要求:

- ①插头应不能插入其他电压系统的插座。
- ②插座应不能被其他电压系统的插头插入。

## 2 直接接触电击防护

(1) 直接接触电击防护应采取的措施

- 1) 带电部分的绝缘。
- 2) 遮栏或外护物。
- 3) 阻挡物。
- 4) 带电部分置于伸臂范围之外。
- 5) 用剩余电流保护器的附加防护。

(2) 绝缘

绝缘应完全覆盖带电部分并且只有采取破坏性手段才能去除。

由工厂制造的电气设备绝缘应符合该设备的相关制造标准。其他设备的绝缘应能长期耐受运行中可能遇到的机械、化学、电气及热的影响。不能将油漆、清漆、喷漆及其他类似物料作为绝缘物质单独地用于直接接触防护。

(3) 遮栏或外护物的防护等级

遮栏或外护物的防护等级不能低于 IPXXB 或 IP2X。易触及的遮栏或外护物的顶部水平表面,防护等级不能低于 IPXXD 或 IP4X。

(4) 遮栏或外护物的固定

遮栏或外护物应可靠固定,并与带电导体有适当间距。当需要移动遮栏、打开外护物或拆下外护物部件时,应符合下列条件之一:

- 1) 使用工具、钥匙。
- 2) 断开带电部分的电源,恢复供电只能在重新放回或重新关闭遮栏或外护物以后。
- 3) 有能防止触及带电部分的防护等级至少为 IPXXB 或 IP2X 的中间遮栏,这种遮栏只有使用钥匙或工具才能移开。
- (5) 阻挡物的作用
- 1) 防止人体无意识地接近带电部分。
- 2) 防止正常运行中操作带电设备时无意识地触及带电部分。

阻挡物可以不用钥匙或工具移开,但应适当固定,以防止其被无意识地移开。

(6) 可同时触及的不同电位部分位置分布

可同时触及的不同电位部分应不在伸臂范围以内。在有人的一般场所,人距带电部分的伸臂范围应符合下列规定:

- 1) 带电部分布置在有人活动的上方时,裸带电体与地面或平台的垂直净距应不小于 2.5m。
- 2) 带电部分布置在有人活动的侧面或下方时,裸带电

体与平台边缘的水平距离应不小于 1.25m。

3) 带电部分具有 IP2X 的遮护物时,伸臂范围应从遮护物算起。

在正常的人工操作时手持大的或长的导电物体的地方,计算伸臂范围时应计入这些物体的尺寸。

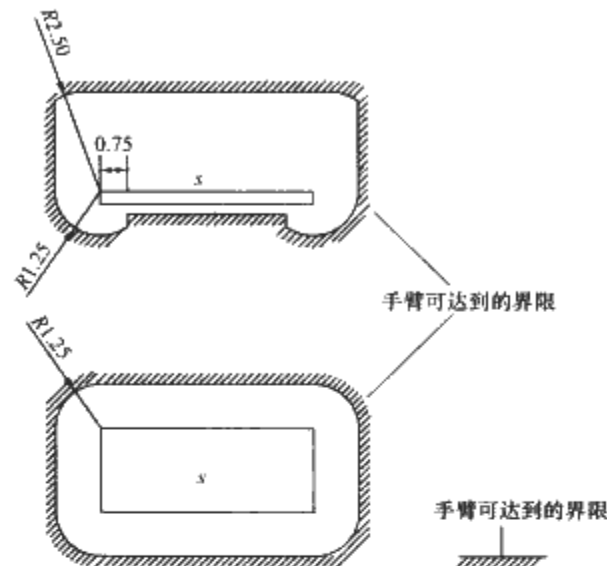


图 5.14-1 伸臂范围

(7) 可采用额定剩余动作电流不超过 30mA 的剩余电流保护器,作为其他防护措施失效时或使用疏忽时的附加防护,但不能因此取消其他防护措施。

## 3 间接接触电击防护

1) 间接接触电击应采取如下措施:

- ①自动切断电源。
- ②采用双重绝缘或加强绝缘的电气设备(Ⅱ类设备)。
- ③将电气设备安装在非导电场所内。
- ④设置不接地的等电位联结。
- ⑤采取电气分隔措施。

2) 自动切断电源。当回路或设备中发生带电部分与外露可导电部分或保护导体之间的故障时,间接接触防护电器应自动切断该回路或设备的电源,以使人体触及的可导电部分的超过方均根值 50V 或无纹波直流 120V 的预期接触电压的持续时间不至达到足以对人体有害的病理生理效应的危险。

3) 外露可导电部分应按其接地系统型式的具体条件与保护导体相连接。在建筑物内应将下列导电体作总等电位联结:

- ①PE、PEN 干线。
- ②电气装置接地极的接地干线。
- ③建筑物内的水管、煤气管、采暖和空调管道等各种金属管道。
- ④条件许可的建筑物金属构件等导电体。

4) 当电气装置或电气装置某一部分自动切断电源的条件不满足时,尚应按照要求在局部范围内作局部等电位联结;也可将能同时触及的两个导电部分之间作辅助等电位联结。

5) 辅助等电位联结应包括所有可同时触及的固定设备的外露可导电部分和外部可导电部分,如果可行,还包括钢筋混凝土结构的主钢筋。辅助等电位联结系统应与包括插座在内的所有设备的保护导体相连接。当难以确定辅助等电位连接的有效性时,可采用下式进行校验

$$R \leq \frac{50}{I_n} \quad (5.14-1)$$

式中,  $R$  为可同时触及的外露可导电部分和装置外部可导电



部分之间的电阻,  $\Omega$ ;  $I_a$  为保护电器动作电流, A; 对于剩余电流保护器是  $I_{\Delta n}$ , 对于过电流保护器是 5s 时的动作电流。

#### 6) TN 系统。

①TN 系统的配电线路接地故障保护的動作特性应符合式 (5.14-2) 要求

$$Z_s I_a \leq U_0 \quad (5.14-2)$$

式中,  $Z_s$  为接地故障回路的阻抗,  $\Omega$ ;  $I_a$  为保证保护电器在表 5.14-1 规定的时间内自动切断故障回路的电流, A;  $U_0$  为相线对地标称电压的方均根值, V。

表 5.14-1 TN 系统的 longest 切断时间

$U_0$ (V)	切断时间 (s)
220	0.4
380	0.2
>400 (380)	0.1

②相线对地标称电压为 220V 的 TN 系统的配电线路的接地故障保护, 其切断故障回路的时间应符合下列规定:

a. 配电线路或仅供给固定式电器设备用电的末端线路不宜大于 5s。

b. 供电给手持式电器设备和移动式电器设备的末端线路或插座回路, 应不大于 0.4s。

③当配电箱或配电回路同时直接或间接给固定式、手持式和移动式电器设备供电时, 应采取下列措施之一:

a. 使配电箱至总等电位联结点之间的一段 PE 线的阻抗不大于  $50Z_s/U_0$ 。

b. 将配电箱内 PE 母排与有关导电部分按照式 (5.14-4) 的要求做局部等电位联结或按照要求采用辅助等电位联结。

④当相线通过未与保护导体连接的外部可导电部分发生接地故障时, 为使保护导体和与之连接的外露可导电部分的对地电压不超过 50V, 应满足以下条件

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50} \quad (5.14-3)$$

式中,  $R_B$  为所有接地极并联接地电阻,  $\Omega$ ;  $R_E$  为未与保护导体连接的外部可导电部分与地之间的最小接触电阻,  $\Omega$ ;  $U_0$  为相线对地标称电压的方均根值, V。

⑤TN 系统配电线路应采用的保护电器有: a. 过电流保护器; b. 剩余电流保护器。

#### 7) TT 系统。

①TT 系统配电线路内由同一保护电器保护的外露可导电部分, 应采用 PE 线连接至共用的接地极上。当有多级保护时, 在等电位联结区域外, 各级宜有各自的接地极。

②TT 系统保护电器的動作特性应符合式 (5.14-4) 要求

$$R_A I_a \leq 50V \quad (5.14-4)$$

式中,  $R_A$  为接地极和裸露可导电部分的保护导体电阻之和,  $\Omega$ ;  $I_a$  为保护电器的動作电流, A。当采用过电流保护电器时, 反时限特性过电流保护电器的  $I_a$  为保证在 5s 内切断的电流; 采用瞬时動作特性过电流保护电器的  $I_a$  为保证瞬时動作的最小电流; 当采用剩余电流保护器时,  $I_a$  为其额定動作电流  $I_{\Delta n}$ 。

③如果 TT 系统配电线路接地故障保护的動作特性不能满足式 (5.14-4) 的要求, 则应按照要求做局部等电位联结或按照要求采用辅助等电位联结。

④TT 系统配电线路应采用的保护电器有: a. 剩余电流

保护器; b. 过电流保护器。

#### 8) IT 系统。

①在 IT 系统的配电线路中, 当发生第一次接地故障时, 应由绝缘监测器发出音响或灯光信号, 其動作电流应符合式 (5.14-5) 的要求

$$R_A I_d \leq 50V \quad (5.14-5)$$

式中,  $R_A$  为外露可导电部分的接地极电阻,  $\Omega$ ;  $I_d$  为相线和外露可导电部分间第一次出现阻抗可忽略的故障时的故障电流, A, 它计及了泄漏电流和电气装置总接地阻抗。

②IT 系统的外露可导电部分可用共同的接地极接地, 亦可个别的或成组的用单独的接地极接地。

a. 当外露可导电部分为单独接地, 发生第二次接地故障时, 故障回路的切断应符合 TT 系统接地故障保护的要求。

b. 当外露可导电部分为共同接地, 发生第二次接地故障时, 故障回路的切断应符合 TN 系统接地故障保护的要求。

③IT 系统的配电线路, 当外露可导电部分为共同接地, 发生第二次接地故障时, 故障回路的切断, 应由过电流保护器或剩余电流保护器切断故障回路, 并应符合下列要求:

a. 当 IT 系统不引出 N 线, 线路标称电压为 220/380V 时, 保护电器应在 0.4s 内切断故障回路, 并应符合式 (5.14-6) 要求。

$$Z_s I_a \leq \frac{\sqrt{3}}{2} U_0 \quad (5.14-6)$$

式中,  $Z_s$  为包括相线和 PE 线在内的故障回路阻抗,  $\Omega$ ;  $I_a$  为保护电器切断故障回路的動作电流, A;  $U_0$  为相线和中性线间的标称交流方均根电压值, V。

b. 当 IT 系统引出 N 线, 线路标称电压为 220/380V 时, 保护电器应在 0.8s 内切断故障回路, 并应符合式 (5.14-7) 要求。

$$Z'_s I_a \leq \frac{1}{2} U_0 \quad (5.14-7)$$

式中,  $Z'_s$  为包括 N 线和 PE 线在内的故障回路阻抗,  $\Omega$ ;  $I_a$  为保护电器切断故障回路的動作电流, A;  $U_0$  为相线和中性线间的标称交流方均根电压值, V。

④IT 系统中, 可采用的监视器和保护电器有: a. 绝缘监视器; b. 过电流保护器; c. 剩余电流保护器。

## 4 II 类设备或等效的绝缘

注: 本措施用以防止电气设备的可触及部分因基本绝缘故障而出现危险电压。

1) 保护应由电气设备本身、或附加绝缘或加强绝缘提供。

2) 经过型式试验并按有关标准标志的以下型式的电气设备:

①具有双重绝缘或加强绝缘的电气设备 (II 类设备)。

②工厂制造的具有全绝缘的成套电气设备 (参见 IEC 60439)。

注: 这种设备用符号回识别。

3) 对只有基本绝缘的设备在电气装置的安装过程中增设附加绝缘, 使其具有与 2) 条的设备相同的安全等级, 并符合 5) ~ 9) 条要求。

注: 在外护物外面和里面的可见位置宜以符号回标志。

4) 对于没有绝缘的带电部分, 在电气安装时增设加强绝缘, 使其具有与 2) 条的设备相同的安全等级, 并符合本



节6)~9)条要求;这种绝缘只能用于结构特征无法采用双重绝缘的设备。

注:在外护物外面和里面可见位置宜以符号☒标志。

5)在准备投入运行的电气设备中,只用基本绝缘与带电部分隔开的所有可导电部分,都应置于保护等级至少为IPXXB或IP2X的绝缘外护物内。

6)绝缘外护物应能经受住可能出现的机械的、电的或热的作用。油漆、清漆、喷漆及类似物的涂层一般不认为是符合此要求的。但是如果有关标准允许使用,并且绝缘涂层已按相应的试验条件经过型式试验,则不排除这种涂层作为外护物。

7)如果绝缘外护层没经预先试验,而对其有效性有怀疑时,应按IEC60364—6的要求进行电气强度试验。

8)绝缘外护物不应被可能引入电位的可导电部分穿越。绝缘外护物上的任何绝缘螺钉或绝缘材料,如被金属件代替而损害外护物所提供的绝缘,则外护物上不能含有任何这类螺钉或绝缘材料。

注:当绝缘外护物必须被机械接头或连接器穿越时(例如内部电器的操作手柄),其配置宜做到故障时电击防护不被破坏。

9)在不用工具或钥匙能打开绝缘外护物的盖或门的地方,所有在盖或门打开时能触及的可导电部分,都应设在保护等级不低于IPXXB或IP2X的绝缘遮栏后面,以防止人员无意识地触及那些部分。该绝缘遮栏应只有用工具才能移开。

10)绝缘外护物内的可导电部分不应连接到保护导体上,但是,对于需要穿过外护物用以其他电气设备提供保护的导体(其电源回路也穿过该外护物),应为其采取相应的保护措施。在外护物内,任何这种导体和其端子应该当作带电导体加以绝缘,其端子应加适当标志。

除有关设备技术规范有规定,外露可导电部分和中间部分不应连接到保护导体上。

## 5 非导电场所

注:本保护措施用以防止带电部分基本绝缘失效后同时触及可能处在不同电位的部分。

1)如果第2)~7)条的条件全部满足,则可以使用0类电气设备。

2)如果在基本绝缘失效时以下部分可能带有不同电位,外露可导电部分的布置应做到在正常条件下人们不会同时触及以下部分:

①两个外露可导电部分。

②一个外露可导电部分和任何外部可导电部分。

3)在非导电场所内不应有保护导体。

4)如果场所内有绝缘的地板和墙,并且采用了以下一种或几种布置,就满足不同时接触0类电气设备两个要求:

①拉开外露可导电部分之间,各外露可导电部分和各外部可导电部分之间的相对距离。两部分之间距离应不小于2m;在伸臂范围以外,该距离可缩短到1.25m。

②在外露可导电部分和外部可导电部分之间设置有效的阻挡物。如能将需越过阻挡物的距离扩大到本条上述一款所述之值,则阻挡物将是足够有效的。阻挡物不应连接到地或外露可导电部分,它们应尽可能是绝缘材料制作。

③将外部可导电部分绝缘,或采用绝缘配置。绝缘应有足够的机械强度并能经受至少2000V的试验电压。在正常使用情况下,泄漏电流应不超过1mA。

5)在IEC 60364—6规定条件下,绝缘地板和墙在每个

测量点的电阻不应小于以下值:装置的标称电压不超过500V时为50k $\Omega$ ,或装置的标称电压超过500V时为100k $\Omega$ 。

注:就电击防护要求而言,如果任何一点的电阻小于规定的值,该地板和墙将被视为外部可导电部分。

6)所做的配置应是永久性的,并不应有失效的可能。预计使用移动式或便携式设备时,也要有这种保护。

注:1 要注意这样的危险:即对没有有效监督的装置,在日后引入更多的可导电部分(例如移动式或便携式I类设备或类似金属水管这样的外部可导电部分)时,可能不再符合413.3.5条的要求。

注:2 保证地板和墙不受潮湿的影响是重要的。

7)应采取措施以防止通过外部可导电部分使该场所外面出现电位。

## 6 不接地的局部等电位联结的防护

注:不接地的等电位联结用来防止出现危险的接触电压。

1)等电位联结导体应连接所有可同时触及的外露可导电部分和外部可导电部分。

2)局部等电位联结系统不应直接通过外露可导电部分或通过外部可导电部分和地有电气接触。

注:此要求不能满足时,可采用自动切断供电的保护见5.16.3。

3)应采取预防措施以保证人员进入等电位场所时不会遭受危险的电位差,特别是与地绝缘的可导电地板连接到不接地的局部等电位联结系统时。

## 7 电气隔离

注:个别回路的电气隔离用来防止触及因回路的基本绝缘故障而带电的外露可导电部分时出现电击电流。

电气隔离保护应符合第1)~4)条所有要求并符合以下的要求:为一台设备供电时,符合第5)条,或为一台以上设备供电时,符合第6)条。

注:建议以伏计的回路标称电压和以米计的布线系统长度的乘积不超过100 000,并且布线系统长度不超过500m。

1)回路应由隔离电源供电,即一台隔离变压器(在考虑中),或一个安全程度相当于上述隔离变压器的电流源,例如一个绕组间具备等效隔离的电动发电机。

注:能耐受特别高的试验电压的能力,被认为是保证必要隔离等级的手段。

连接到供电系统的移动供电电源,应按照II类设备或等效的绝缘要求选择或安装。

固定供电电源应符合下列要求之一:按照II类设备或等效的绝缘要求选择或安装,或输出侧与输入侧,及输出侧与外护物隔离,且符合II类设备或等效的绝缘要求;如果这样的电源为几个设备供电,则这些设备的外露可导电部分不应连接到电源的金属外护物上。

2)电气隔离回路的电压不应超过500V。

3)电气隔离回路的带电部分不应在任何点与其他回路或地连接。为了避免对地故障的危险,应特别注意这些部分与地的绝缘,尤其是软电缆和软线。电气隔离的配置应保证电气隔离不低于隔离变压器的输入和输出间的隔离水平。

注:特别是像继电器、接触器、辅助开关之类的电气设备的带电部分与其他回路任何部分之间,需要这种电气隔离。

4)隔离回路最好采用分开的布线系统。如果隔离回路和其他回路的导体处在同一的布线系统中不可避免,则应采用没有金属外层的多芯电缆,或敷设在绝缘的导管、管道或槽盒中的绝缘导线。它们的额定电压不应低于此布线系统中可能出现的最高电压,且每个回路都有过电流保护。

5)如果只给一个设备供电,隔离回路的外露可导电部

分不应连接到保护导体和其他回路的外露可导电部分上。

注：如果隔离回路的外露可导电部分可能故意地或偶然地与其他回路的外露可导电部分接触，电击防护不再单靠电气隔离，而要采取适用于其他回路的外露可导电部分的保护措施。

6) 如果采用了防止隔离回路受损和绝缘失效的预防措施，在满足7)～10)条的所有要求时，符合第1)条的供电电源可以给一台以上的设备供电。

7) 隔离回路的各外露可导电部分应用绝缘的不接地的等电位联结导体互相连接。这种导体不应与其他回路的保护导体或外露可导电部分连接，或与任何外部可导电部分

连接。

注：见本节5)的注。

8) 所有插座应设有保护触点，保护触点应连接到按第7)条设置的等电位联结系统。

9) 除向Ⅱ类设备供电者外，所有软电缆应含有作为等电位联结导体的保护导体。

10) 如果发生对两个外露可导电部分的两个故障，并且这两个故障是由两个不同的极供电的，应保证保护电器按规定的切断时间切断供电。



## 第6篇 建筑工程常用电器系统

主 编：杨德才

副 主 编：张涓笑

编写人员：魏志刚



第1章 常用电线电缆

1 分类及型号

建筑电气工程中常用的电线电缆有绝缘电线、绝缘电力电缆、预制分支电缆、阻燃耐火电线电缆、矿物绝缘电缆等。

1.1 型号标记

电缆由导体、绝缘层、电缆护层三大部分组成，我国电缆产品的型号组成为：类别或用途—导体—绝缘层—（内）护层—外护层—派生，其编制方法见表 6.1-1。

1.2 塑料绝缘电缆

1.2.1 聚氯乙烯（PVC）绝缘电缆

（1）工作温度

- 1) 电缆线芯长期最高工作温度不超过 70℃。
- 2) 短路热稳定允许温度 300mm<sup>2</sup> 及以下截面为 160℃，300mm<sup>2</sup> 以上为 140℃。

（2）主要特点

- 1) 适用于额定电压 6/6kV、6/10kV 及以下的电力线路中。
- 2) 制造工艺简便，没有敷设高差限制，质量轻，弯曲性能好，接头制作简便；耐油、耐酸碱腐蚀，不延燃；具有内铠装结构，使钢带或钢丝免受腐蚀；价格便宜。气候适应性差，低温时变硬发脆。普通型聚氯乙烯绝缘电缆的适用温度范围为+60～-15℃之间，不适宜在-15℃以下的环境

中使用。

1.2.2 交联聚乙烯绝缘电缆

（1）工作温度

- 1) 电缆线芯长期允许工作温度 90℃。
- 2) 短路热稳定允许温度 250℃。

（2）主要特点

6~35kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆，介质损耗低，性能优良，结构简单，外径小，质量轻，载流量大，敷设方便，不受高差限制，耐腐蚀，做终端和中间接头较简便而被广泛采用。

1.2.3 预制分支电缆

（1）构造及分类

分支电缆是将成品电缆在指定的位置剥去护套及绝缘层，再冷压接分支接头，最后进行二次注塑制成，全部过程都在车间内用专用机械设备加工。因此，分支电缆可靠性较高，又由于施工较简便，近年来在国内被广泛使用。分支电缆有聚氯乙烯及交联聚乙烯绝缘两大类，也可制成低烟低卤或无卤阻燃型。

（2）主要特点

- 1) 电压等级目前仅限于 0.6/1kV 级，它的载流量及性能与同类绝缘电缆相同。
- 2) 有单芯和多芯（拧绞型）两类。
- 3) 可用于工业及民用建筑的电力及照明干线。
- 4) 缺点是一旦分支部位确定后，在现场不能变更位置尺寸，因此灵活性不如插接式母线槽。

表 6.1-1 电线电缆产品型号编制方法简介

类别、用途	导体	绝缘	内护层	特征	外护层	派生
1	2	3	4	5	6	7
裸电线： L—铝线 Y—铜线 G—钢线				J—绞制 R—柔软 Y—硬		
电力电缆： V—塑料电缆 X—橡皮电缆 YJ—交联聚乙烯电缆 BTT—矿物电缆 ZR (Z)—阻燃型 NH (N)—耐火型	铜芯 T 可省略 L—铝芯	V—聚氯乙烯 X—橡皮 Y—聚乙烯	H—橡胶 Q—铅包 V—塑料护套	P—屏蔽 D—不滴流	1—一级防腐 2—二级防腐 9—内铠装	110—110kV 120—120kV 150—150kV
通信电缆： H—通信电缆 HJ—局用电缆 HP—配线电缆 HU—矿用电缆	G—铁线芯	Z—纸 V—聚氯乙烯 Y—聚乙烯 YF—泡沫聚乙烯 X—橡皮	Q—铅 F—复合物 V—塑料 VV—双层塑料 H—橡胶	C—自承式 J—交换机用 P—屏蔽 R—软结构 T—填充石膏	0—相应的裸外护层 1—纤维外被 2—聚氯乙烯 3—聚乙烯	T—热带型
电气装备用电线电缆： B—绝缘线 DJ—电子计算机 K—控制电缆 R—软线 Y—移动电缆 ZR—阻燃		V—聚氯乙烯 X—橡皮 XF—聚丁橡皮 XG—硅橡皮 Y—聚乙烯	H—橡胶 P—屏蔽 V—聚氯乙烯	C—重型 G—高压 H—电焊机用 Q—轻型 R—柔软 T—耐热 Y—防白蚁 Z—中型	0—相应的裸外护套 32—镀锡铜丝 2—铜带绕包 3—铝箔/聚酯薄膜复合带绕包	1—第一种（户外用） 2—第二种 0.3—拉断力 0.3t 105—耐热 105℃

注 1. 1~5 项以汉语拼音字母表示；6、7 项一般以阿拉伯数字示。  
2. 一般电线电缆导体用铜时不注“T”。



### 1.3 橡皮绝缘电力电缆

#### (1) 工作温度

- 1) 电缆线芯长期允许工作温度 60℃。
- 2) 短路热稳定允许温度 200℃。

#### (2) 主要特点

橡皮绝缘电缆弯曲性能较好，能够在严寒气候下使用，特别适用于水平高差大和垂直敷设的场合。它不仅适用于固定敷设的线路，也可用于定期移动的固定敷设线路。

### 1.4 阻燃、耐火电线电缆

#### 1.4.1 阻燃电缆

阻燃电缆是指在规定试验条件下被燃烧，具有使火焰蔓延仅在限定范围内，撤去火源后，残焰和残灼能在限定时间内自行熄灭的电缆。

##### (1) 阻燃电缆的性能

阻燃电缆的性能主要用氧指数和发烟性能两项指标来评定。材料的氧指数越高，则表示它的阻燃性能越好。

电线电缆的发烟性能可以用透光率来表示，透光率越小表示材料的燃烧发烟量越大。

1) 阻燃电缆的阻燃等级分为 A、B、C、D 四级，见表 6.1-2。

表 6.1-2 阻燃电缆分级表

级别	供火温度 (℃)	供火时间 (min)	成束敷设电缆的 非金属材料体积 (L/m)	焦化高度 (m)	自熄时间 (h)
A	≥815	40	≥7	≤2.5	≤1
B			≥3.5		
C		20	≥1.5		
D			≥0.5		

注 1. GB 12666.5—1990 未注明 D 级，D 级标准摘自 IEC-332-3-25，1999。

2. D 级标准仅适用绝缘电线。

2) 电线电缆按发烟量透光率及烟气毒性分为四级，见表 6.1-3。

表 6.1-3 电线电缆发烟量及烟气毒性分级表

级 别	烟密度 (透光率, %)	允许烟气毒性浓度 (mg/L)
I	≥80	≥12.4
II	≥60	
III	≥20	≥6.15
IV	—	—

#### (2) 阻燃电缆分类

1) 阻燃电缆燃烧时，按烟气特性可分为一般阻燃电缆、低烟低卤阻燃电缆、无卤阻燃电缆三大类。

2) 一般阻燃电缆含卤素，虽阻燃性能好价格又低廉，但燃烧时烟雾浓、酸雾及毒气大，无卤阻燃电缆烟少、毒低、无酸雾。它的烟雾浓度比一般阻燃电缆低 10 倍，但阻燃性能较差，大多只能做到 C 级，而价格比一般阻燃电缆贵很多；若要达到 B 级，价格更贵。由于必须在绝缘材料中添加大量的金属水化物等填充料，以用来提高材料氧指数和降低发烟量，这样会使材料的电气性能、机械强度及耐水性能大大降低。不仅如此，无卤阻燃电缆一般只能做到

0.6/1kV 电压等级，6~35kV 电压电缆很难做到阻燃要求。

#### 1.4.2 耐火电线电缆

耐火电线、电缆是指在规定试验条件下，在火焰中被燃烧一定时间内能保持正常运行特性的电缆。

##### (1) 分类

耐火电缆按耐火特性分为 A 类和 B 类两种，见表 6.1-4。

表 6.1-4 耐火电缆分类表

类 别	耐 火 特 征		
	受火温度 (℃)	供火时间 (min)	技术指标
A	900~1000	90	3A 熔丝不熔断
B	750~800		

##### (2) 有机型耐火电缆

有机型主要是采用耐高温 800℃ 的云母带以 50% 重叠搭接率包覆两层作为耐火层，外部采用聚氯乙烯或交联聚乙烯为绝缘，若同时要求阻燃，只要将绝缘材料选用阻燃型材料即可。它之所以具有“耐火”特性完全依赖于云母层的保护。采用阻燃耐火型电缆，可以在外部火源撤除后迅速自熄，使延燃高度不超过 2.5m。由于云母带耐温 800℃，有机类耐火电缆一般只能做到 B 类。加入隔氧层后，可以耐受 950℃ 高温而达到耐火 A 类标准。

##### (3) 矿物绝缘电缆

矿物绝缘电缆，国际上称作 MI 电缆。在某种意义上是一种真正的耐火电缆，只要火焰温度不超过铜的熔点 1083℃，电缆就安然无恙。除了耐火性外，还有较好的耐喷淋及耐机械撞击性能，适用于建筑消防设备供电及控制系统以及需要在火灾中维持通电的线路。

1) 矿物绝缘电缆是用矿物作为绝缘材料的电缆，通常由铜为导体，氧化镁矿物为绝缘，铜管为护套组成。

2) 矿物绝缘电缆由于自身的结构决定其具有防火、防爆、防水、防腐、无烟无毒、耐高温、载流量大、使用寿命长、弯曲半径小、敷设占用空间小等特点。

### 1.5 母线槽

母线槽（又称母线干线系统、封闭式母线、保护式母线、插接式母线等），由于母线槽传输电流大、安全性能好、结构紧凑、占空间小。它适用于高层建筑、工厂车间内的垂直、水平干线配电系统。

#### 1.5.1 结构形式

母线槽有空气绝缘母线槽、密集绝缘母线槽和滑接式母线槽三种结构形式。

1) 密集绝缘母线槽是将裸母线用绝缘材料覆盖后，紧贴通道壳体放置的母线槽。密集绝缘母线槽，相间紧贴，中间没有气隙，有较好的热传导和动稳定性。大电流母线槽推荐选用密集绝缘式。

2) 空气绝缘母线槽是将裸母线用绝缘垫块支承在壳体内，靠空气介质绝缘的母槽。它制作较为简便，接头和插接引出口处，母排仍保持直线状，外壳零件也少，外形较美观。绝缘不存在老化问题，但由于壳体内封存空气，散热不如密集绝缘容易。因此，在大电流规格时，导体截面利用不够经济，使导体断面尺寸偏大。空气附加绝缘母线槽是将裸母线用绝缘材料覆盖后，再用绝缘垫块支承在体内的母线槽，也称混合绝缘型。这种绝缘方式类同于但优于空气绝缘母线槽。

3) 滑接式母线槽是用滚轮或者滑触型分接单元的母线干线单元。

1.5.2 组成

1) 母线槽采用的导电材料有铜、铝、铝合金或复合导体，如铜包铝或钢铝复合材料等。铜包铝母线常被用于配电屏中；钢铝复合材料则常用于滑接式母线槽。

2) 母线槽通常由母线本体、进线箱、插接箱及终端封头四大部分组成；另外配有“T”形，“L”形，“+”形等弯头及吊装附件。

2 设计选择

2.1 型式的选择

2.1.1 常用电缆及用途

建筑电气工程中常用电缆及用途，见表 6.1-5。

表 6.1-5 各种电缆及用途

型 号		名 称	主 要 用 途
铜芯	铝芯		
XV	XLV	橡皮绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	敷设在无机械外力作用户内电缆沟及管子中
KXV		橡皮绝缘聚氯乙烯护套控制电缆	
XV29	XLV29	橡皮绝缘聚氯乙烯护套铠装电力电缆	敷设在室内或电缆沟道中，电缆能承受机械外力的作用，但不能承受大的拉力
KXV20		橡皮绝缘聚氯乙烯护套铠装控制电缆	
XF	XLF	橡皮绝缘氯丁护套电力电缆	敷设在无机械外力作用户内电缆沟及管子中
KXF		橡皮绝缘氯丁护套控制电缆	
VV	VLV	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	敷设在有侵蚀性介质、无机械外力作用的户内电缆沟道及管子中
KVV		聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆	
VV22	VLV22	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套钢带铠装电力电缆	敷设在地下或电缆沟道中，能承受机械外力作用，但不能承受大的拉力
KVV22		聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套钢带铠装控制电缆	
YJV	YJLV	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	敷设在地下或电缆沟道中，能承受机械外力作用，但不能承受大的拉力
KYJV		交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆	
KVVR		聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制软电缆	敷设在地下或电缆沟道中，能承受机械外力作用，但不能承受大的拉力
KVVP		聚氯乙烯绝缘铜丝编织总屏蔽聚氯乙烯护套控制电缆	
KYVFP		聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套分相屏蔽控制电缆	敷设在地下或电缆沟道中，能承受机械外力作用，但不能承受大的拉力
RVVP		聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套屏蔽软线	

续表

型 号		名 称	主 要 用 途
铜芯	铝芯		
KJCP		数字巡回检测装置屏蔽控制电缆	广泛用于电子装置、自动化系统，计算机回路及其他一般工业计测装置传送微弱的模拟信号和数字信号
KJCPR		数字巡回检测装置屏蔽控制软电缆	
YZ		中型橡套电缆	连接各种移动式电气设备，能承受较大机械拉力，YZW 型还具有耐气候和一定的耐油性
YZW			
YC		重型橡套电缆	连接各种移动式电气设备，能承受较大机械拉力，YCW 型还具有耐气候和一定的耐油性
YCW			
YHD		野外用橡皮绝缘橡皮护套电力电缆	连接各种移动式电气设备，能承受相当的外力作用
KYVD		铜芯聚氯乙烯绝缘耐寒塑料护套控制电缆	同 KVV，敷设温度不低于-20℃
ZR-VV	ZR-VLV	聚氯乙烯绝缘阻燃聚氯乙烯护套电力电缆	适用于有高阻燃要求的场所，如高层宾馆大厦、油田、煤矿、核电站、公共场所等防燃、防爆的场合
ZR-VV22	ZR-VLV22	聚氯乙烯绝缘钢带铠装阻燃聚氯乙烯护套电力电缆	
ZR-KVV		聚氯乙烯绝缘阻燃聚氯乙烯护套电力电缆	
ZR-BV		阻燃聚氯乙烯绝缘电线	
ZR-BV-105		105℃阻燃电线	
ZR-BVR		阻燃聚氯乙烯绝缘软电线	适用于有高阻燃要求的场所，如高层宾馆大厦、油田、煤矿、核电站、公共场所等防燃、防爆的场合
YJV-FR	YJLV-FR	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套阻燃电力电缆	
KYJV-FR		交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套阻燃控制电缆	适用于高层建筑、核电站、石油、化工、矿山等要求防火安全条件高的场合，是应急电源、消防泵、电梯、通信系统的必备电缆
NF-VV		聚氯乙烯绝缘阻燃护套耐火电缆	
NF-VV22		聚氯乙烯绝缘阻燃护套铠装耐火电缆	
BTTZ		矿物绝缘电缆	

2.1.2 导体选择

用作电线电缆的导电材料，通常有铜和铝两种。导体材料应根据负荷性质、环境条件、市场货源等实际情况选择。

(1) 导体性能比较

铜导体的导电率高，20℃时的电阻率  $\rho = 1.72 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ，铝导体 20℃的电阻率  $\rho = 2.82 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ，约为铜的 1.68 倍；载流量相同时，铝导体截面约为铜的 1.5 倍。采用铜导体损耗比较低，铜导体的机械性能优于铝导体，延性好，便于加工安装。铜导体抗疲劳强度约为铝导体的 1.7 倍。但铝导体比重小，在电阻值相同时，铝导体的质量仅为铜的 1/2，铝导体缆明显较轻。

(2) 铜芯线缆选择

下列场合应采用铜芯线缆：

1) 需要确保长期运行中连接可靠的回路; 移动设备的线路及振动场所的线路; 应急系统及消防设施的配电线路; 线芯截面  $6\text{mm}^2$  及以下的线缆。

2) 对铝有腐蚀的环境; 高温环境、潮湿环境、爆炸及火灾危险环境。

(3) 铝芯线缆选择

下列场合应采用铝芯线缆。

1) 对铜有腐蚀而对铝腐蚀相对较轻的环境。

2) 架空输电线路, 较大截面的中频线路。

### 2.1.3 电缆芯数选择

1) 用于各种系统中的电缆芯数选择见表 6.1-6。

表 6.1-6 电缆芯数选择表

电 压	系统制式	电缆芯数		说 明
		单芯	多芯	
35kV 交流	三相	$3 \times 1$		
6~10kV 交流	三相	$3 \times 1$	3 芯	
<1kV 交流	三相四线制 <sup>①</sup>	$4 \times 1$	4 芯或 5 芯 <sup>②</sup>	TN-C 系统的 PEN 线应 和相线在同一电缆内, 即用 4 芯
	三相四线制 <sup>①</sup>	$3 \times 1$	3 芯或 4 芯 <sup>②</sup>	
	单相两线制 <sup>①</sup>		3 芯	一般用 3 芯
	单相中频		2 芯或 4 芯	用 4 芯应为等截面
$\leq 50\text{V}$ 交流	单相 SELV		2 芯	
$\leq 1500\text{V}$	直流		2 芯	

① 指载流导体的系统制式, 不包括 PE 线。

② 采用电缆芯作 PE 线时的芯数。

2) 下列情况下宜采用单芯电缆组成电缆束替代多芯电缆:

① 在水下、隧道或特殊的较长距离线路中, 为避免或减少中间接头的情况下。

② 沿电缆桥架敷设, 为减小弯曲半径的情况下。

③ 负荷电流很大, 采用两根电缆并联仍难以满足要求的情况下。

④ 采用矿物绝缘电缆的情况下。

3) 用于交流系统的单芯电缆应选用无金属护套和铠装的类型。必须铠装时, 应采用经隔磁处理的钢丝铠装电缆, 35kV 还可用节距足够大的铠装。

### 2.1.4 电缆绝缘水平选择

正确地选择电缆的额定电压值是确保长期安全运行的关键之一。电缆绝缘水平的选择见表 6.1-7。

表 6.1-7 电缆绝缘水平选择 单位: kV

系统标称电压 $U_0$		0.22/0.38		3	6	10	35
电缆的额定电压 $U_0/U$	第 I 类	$0.6/1$ ( $0.3/0.5$ ) ( $0.45/0.75$ )	1.8/3	3/6	6/10	21/35	
	第 II 类		3/3	6/6	8.7/10	26/35	
芯芯之间的工频最高电压 $U_{max}$			3.6	7.2	12	42	
芯芯对地的雷电冲击耐受电压的峰值 $U_m$				60 75	75 95	200 250	

注 括号内数值只能用于建筑物的电气线路, 不包括建筑物电源进线。

1) 电缆设计用缆芯对地 (与绝缘屏蔽层或金属护套之间) 的额定电压  $U_0$ , 应满足所在电力系统中性点接地方式及其运行要求的水平。中性点非有效接地 (包括中性点不接地和经消弧线圈接地) 系统中的单相接地故障持续时间在  $1\text{min} \sim 2\text{h}$  之间, 必须选用第 II 类的  $U_0$ 。仅当系统中的单相接地故障能很快切除, 在任何情况下故障持续时间不超过  $1\text{min}$  时, 才可选用第 I 类的  $U_0$ 。一般情况下, 220/380V 系统中选用第 I 类的  $U_0$ , 3~35kV 系统应选用第 II 类的  $U_0$ 。

2) 电线电缆芯之间的额定电压  $U$  应等于或大于系统标称电压  $U_n$ 。

3) 电缆设计用缆芯之间的工频最高电压  $U_{max}$  应按大于或等于系统的最高工作电压选择。

4) 电缆设计用缆芯的雷电冲击耐受电压峰值  $U_m$  应按表 6.1-7 选取。

### 2.1.5 绝缘材料及护套选择

(1) 普通电缆选择

1) 聚氯乙烯 (PVC) 绝缘电线、电缆适宜在线路高差较大或敷设在桥架、槽盒内以及含有酸、碱等化学性腐蚀土质中直埋。但其绝缘电阻较油浸纸绝缘电缆低, 介质损耗较高, 因此 6kV 较重要回路电缆, 不宜用聚氯乙烯绝缘型。

2) 普通型聚氯乙烯绝缘电缆不宜在  $-15^\circ\text{C}$  以下的环境中使用。它敷设时的温度更不能低于  $-5^\circ\text{C}$ , 当低于  $0^\circ\text{C}$  时, 宜先对电线、电缆加热。低于  $-15^\circ\text{C}$  的严寒地区应选用耐寒聚氯乙烯电缆。高温或日光照射下, 会加速绝缘老化, 因此, 在未具备有效隔热措施的高温环境或日光经常强烈照射的场合, 宜选用相应的特种电线、电缆, 如耐热聚氯乙烯线缆。

3) 普通聚氯乙烯虽然有一定的阻燃性能, 但在燃烧时, 散放有毒烟气, 故对于需满足低烟、低毒气要求的场合, 如地下客运设施, 地下商业区、高层建筑和特殊重要公共设施等人流较密集场所, 不宜采用聚氯乙烯绝缘或者护套类电线、电缆, 而应采用低烟、低卤或无卤的阻燃电线电缆。

4) 聚氯乙烯电缆不适用在含有苯及苯胺类、酮类、吡啶、甲醇、乙醇、乙醚等化学剂的土质中; 在含有三氯乙烯、三氯甲烷、四氯化碳、二硫化碳、醋酸酐、冰醋酸的环境不宜采用。

5) 移动式电气设备的供电回路应采用橡皮绝缘橡皮护套软电缆; 在可能经常被油浸泡的场所, 宜使用耐油型橡胶护套电缆。对于高温环境又有柔软性要求的回路, 宜选用乙丙橡胶绝缘电缆。

(2) 阻燃电缆选择

1) 电线电缆成束敷设时, 应采用阻燃型电线电缆。确定阻燃等级时, 需核算电线电缆的非金属材料体积总量, 再确定阻燃等级。当电缆在桥架内敷设时, 应考虑将来增加电缆时, 也能符合阻燃等级, 宜按近期敷设电缆的非金属材料体积预留 20% 余量。电线在槽内敷设时, 也宜按此原则来选择阻燃等级。

2) 阻燃电缆必须注明阻燃等级, 同一通道内敷设的电缆, 应选用同一阻燃等级的电缆。阻燃和非阻燃电缆也不宜在同一通道内敷设。非同一设备的电力与控制电缆若在同一通道时, 亦宜互相隔离。

3) 直埋地电缆, 直埋入建筑孔洞或砌体的电缆及穿管敷设的电线电缆可选用普通型电线电缆。

4) 敷设在有盖槽盒、有盖板的电缆沟中的电缆, 若已采取封堵、阻水、隔离等防止延燃措施, 可降低一级阻燃

要求。

5) 选用低烟低卤或无卤型电缆时，应注意到这种电缆阻燃等级一般仅为C级。若要较高阻燃等级应选用特种电缆。

(3) 耐火电线、电缆选择

1) 耐火等级应根据一旦火灾时可能达到的火焰温度确定。当难以确定火焰温度时，也可根据建筑物或工程的重要性确定，特别重要的选A类，一般的选B类。

2) 下列供电及控制线路在火灾时，仍需保持正常运行，应采用耐火电线、电缆。

①消防泵、喷淋泵、消防电梯、电动防火（卷帘）门、防排烟系统、应急照明、火灾报警系统等的供电及控制线路。

②高层建筑或机场、地铁等重要设施中的安保线路。

③大、中型变配电所重要的继电保护线路及操作电源线路。

3) 下列场所应采用矿物绝缘电缆。

①高温环境。

②辐射较强的场合。

③一、二类建筑消防负荷的干线，重要消防设施的电源及控制线路。

④需耐火同时要防水冲击及防重物坠落损伤的场合。

⑤耐火电缆明敷设的场合。

2.1.6 外护层选择

电缆外护层及铠装的选择见表6.1-8，其中外护层类型按GB/T 2952.1~4—1989编制。

1) 直埋地敷设。在土壤可能发生位移的地段，如流沙、回填土及大型建筑物、构筑物附近应选用承受机械张力的钢丝铠装电缆，或采取预留长度、用板桩或排桩加固土壤等措施，以减少或消除因土壤位移而作用在电缆上的应力。

塑料电缆直埋地敷设时，当使用中可能承受较大压力或存在机械损伤危险时，应选用钢带铠装；不存在上述情况时，可不需带有铠装。

电缆金属套或铠装外面应具有塑料防腐外套，当位于盐碱、沼泽或在含有腐蚀性的矿流回填土时，应具有增强防护性的外护套。

2) 导管或排管中敷设，宜选用塑料外护套。

3) 空气中敷设。可能承受机械损伤或防鼠害、蚁害要求较高的场所，应采用铠装电缆，敷设于托盘、梯架、槽盒内。防白蚁型聚乙烯护套电线、电缆，它的规格、电气性能、机械物理性能与普通型同类产品相同。无防鼠、蚁害要求时，可不需铠装。

表 6.1-8 各种电缆外护层及铠装的适用敷设场合

护套或外护层	铠装	代号	敷设方式								环境条件						备注
			室内	电缆沟	电缆桥架	隧道	管道	竖井	埋地	水下	火灾危险	移动	多砾石	一般腐蚀	严重腐蚀	潮湿	
一般橡胶套	无		✓	✓	✓	✓	✓					✓		✓		✓	
不延燃橡胶套	无	F	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓			耐油
聚氯乙烯护套	无	V	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓	
聚乙烯护套	无	Y	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓		✓	✓	✓	
铜护套	无		✓	✓	✓	✓		✓			✓			✓	✓	✓	矿物绝缘电缆
聚氯乙烯护套	钢带	22	✓	✓	✓	✓			✓					✓	✓	✓	
聚乙烯护套	钢带	23	✓	✓	✓	✓			✓					✓	✓	✓	
聚氯乙烯护套	细钢丝	32				✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
聚乙烯护套	细钢丝	33				✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
聚氯乙烯护套	粗钢丝	42				✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
聚乙烯护套	粗钢丝	43				✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	

注 1. “✓”表示适用；无标记则不推荐采用。  
2. 具有防水层的聚氯乙烯护套电缆可在水下敷设。  
3. 如需要用于湿热带地区的防霉特种护层可在型号规格后加代号“TH”。  
4. 单芯钢带铠装电缆不适用于交流线路。

2.2 截面选择

2.2.1 按持续允许电流选择截面

为保证电线、电缆在通过负载电流时，线芯温度不超过绝缘所允许的长期工作温度，电线、电缆发热条件的允许长期工作电流（以下简称载流量），不应小于线路的工作电流。在不同的环境温度下，电线、电缆允许的载流量应进行校正。当负荷为断续工作或短路工作时，应折算成等效发热电流，按持续允许电流选择电线、电缆的截面，或者按工作制校正电线、电缆载流量。

2.2.2 按经济电流选择截面

按经济电流选择电线、电缆截面的方法是经济选型。所

谓经济电流是寿命期内，投资和导体损耗费用之和最小适用截面（区间）所对应的工作电流（范围）。

按载流量选择线芯截面时，只计算工程初始投资；按经济电流选择时，除计算初始投资外，还要考虑经济寿命期内的导体损耗费用，二者之和应最小。当减少线芯截面时，初始投资减少，但线路损耗费用增大；反之增大线芯截面时，线路损耗减少，但初始投资增加，某一截面区内，两者之和（总费用 TOC）最少，即为经济截面。

一般情况下，按温升选择的截面与按经济电流确定的导体截面二者取较大者。

2.2.3 按电压损失校验截面

用电设备端子电压实际值偏离额定值时，其性能将受到

影响,影响的程度由电压偏差的大小和持续时间而定。

配电设计中,按电压损失校验截面时,应使各种用电设备端电压符合电压偏差允许值。

对于照明线路,一般按允许电压损失选择线、缆截面,并校验机械强度和允许载流量,可先求得计算电流和功率因数,用电流矩法进行计算。

## 2.2.4 按机械强度校验截面

按机械强度允许的最小截面见表 6.1-9。

表 6.1-9 按机械强度允许的最小截面

用 途			导线最小允许截面积 (mm <sup>2</sup> )		
			铝	铜	铜心软线
裸导线敷设于绝缘子上 (低压架空线路)			16	10	
绝缘导线敷设于绝缘子上, 支点距离 L (m)	室 内	$L \leq 2$	2.5	1.0	
	室 外	$L \leq 2$	2.5	1.5	
		$2 < L \leq 6$	4	2.5	
		$6 < L \leq 15$	6	4	
		$15 < L \leq 25$	10	6	
固定敷设护套线、轧头直敷			2.5	1.0	
移动式用电设备用导线		生 产 用			1.0
		生 活 用			0.2
照明灯头引下线	工业建筑	屋 内	2.5	0.8	0.5
		屋 外	2.5	1.0	1.0
	民用建筑、室内		1.5	0.5	0.4
绝缘导线穿管			2.5	1.0	1.0
绝缘导线槽板敷设			2.5	1.0	
绝缘导线线槽敷设			2.5	1.0	

## 2.3 母线槽设计选择

1) 按额定电压母线槽分为低压母线槽 380V、660V 及高压母线槽 3.6~35kV。

2) 按额定电流等级选择,见表 6.1-10。

表 6.1-10 各类母线槽额定电流等级(方均根值)

形 式	数 值
密集绝缘	25, 40, 63, 100, 160, 200, 250, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000
空气绝缘	63, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000
空气附加绝缘	250, 400, 630, 800, 4000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150
滑接式	16, 50, 60, 80, 100, 110, 125, 140, 150, 160, 170, 200, 210, 250, 315, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000

3) 按功能分类母线槽有馈电式、插接式和滑接式三种。

①馈电式母线槽是由各种不带分接装置(无插接孔)的母线干线单元组成,它用来将电能直接从供电电源处传输到配电中心。常用于发电机或变压器与配电屏的连接线路,或

者配电屏之间的连接线路。

②插接式母线槽是由带分接装置的母线干线单元和插接式分线箱组成的,用来传输电能并可引出电源支路。

③滑接式母线槽常用于移动设备的供电,如行车、电动葫芦和生产线上。它最大优点是取电位置可以任意选择,而不需要变更母线槽结构,对于工艺变更周期短的生产车间、生产流水线或检测线,使用十分方便。

4) 按外壳形式及防护等级选择。

母线槽外壳有表面喷涂的钢板、塑料及铝合金三种材料。

①表面喷涂钢板式,它加工容易,成本较低。主要适用于室内干燥环境,最高外壳防护等级可达 IP54—63。

②塑料外壳母线槽,采用注塑成型,内部构造属于空气绝缘式。其导体嵌入塑料槽内。它突出的优点是耐腐蚀性,可选用于相对湿度 98% 的环境。外壳防护等级可达到 IP56,化工防腐类型为 W。另一类塑料母线槽是树脂浇注式。最高外壳防护等级可达到 IP68,树脂既作绝缘又作骨架。这类母线槽也适用于腐蚀环境及高湿度环境。

③铝合金外壳母线槽内部结构属于密集绝缘式,外壳上设计了散热板,增大了散热面积,使结构更紧凑。外形尺寸小、质量轻,外壳用成型铝材,装配精度高。外壳防护等级 IP66,可适合在室内外应用,而外壳可作为 PE 线使用。

④母线槽外壳防护类别及使用环境,见表 6.1-11。

表 6.1-11 母线槽外壳防护类别及使用环境

类别	使用环境					外壳防护等级
	室内外	温度(℃)	相对湿度(%)	污染等级	安装类别	
户内滑触型	室内	-5~+40	≤50 (+40℃时)	3	Ⅲ	IP13~35
户外滑触型	室外	-25~+40	100 (+40℃时)	3~4	Ⅲ	IP23
一般母线槽	室内	-5~+40	≤50 (+40℃时)	3	Ⅲ、Ⅳ	IP30~40
防护式母线槽	室内	-5~+40	≤50 (+40℃时)	3	Ⅲ、Ⅳ	IP25~55
高防护式母线槽	室内外	-25~+40	有凝露或有水冲击的场所	3	Ⅲ、Ⅳ	≥IP63

5) 按防火要求选择。有普通型和耐火型两种。在火灾情况下的一定时间内仍然保持正常运行的母线槽应采用耐火型,其规定的试验条件同耐火电缆。

耐火型母线槽就结构上分类有两种。一种是外涂敷型耐火母线槽。在壳体外部,涂敷一层防火材料(这种耐火母线壳体上还设有通风百叶,正常运行时作为散热之通道)。一旦着火,防火材料受热膨胀,将火焰隔离,同时将通风百叶封堵,以维护母线槽的正常运行。另一种是内衬垫型耐火母线槽,它采用耐火材料制作绝缘垫块,达到耐火目的。这种母线平时运行时散热条件与普通空气绝缘母线槽相同,优于外涂敷型耐火母线槽,而且成本较低。

## 3 敷设及安装

### 3.1 电线敷设

#### 3.1.1 一般要求

电线敷设方式通常可分为明敷设和暗敷设,应根据电线



的种类、适用场合及有关规范的规定及各类建筑物的性质、要求、用电设备的分布及环境特征等因素综合考虑。

1) 电线敷设方式选择应符合建筑物和构筑物及场所的环境特征；符合人与布线之间的安全距离要求；应考虑短路可能出现的机械应力；在安装期间或运行中，线路可能遭受的其他应力。

2) 选择敷设方式时，应避免下列外部环境带来的损害或有害影响：

① 应避免由外部热源产生的有害影响。

② 应防止在使用过程中因水的浸入或因进入固体物而带来的损害。

③ 应防止外部的机械损害。

④ 在有大量灰尘的场所，应避免由于灰尘聚集在电线上所带来的有害影响。

⑤ 应避免由于强烈日光辐射而带来的损害。

### 3.1.2 电线明敷设

#### (1) 护套绝缘导线明敷设

护套绝缘导线具有防潮性能，可敷设在有机械防护要求的场合，通常用于照明支线，施工简便，适用面广。屋内直敷布线采用护套绝缘导线，其截面不宜大于  $6\text{mm}^2$ ，布线的固定点间距应不大于  $300\text{mm}$ 。

#### (2) 绝缘子布线

绝缘子有鼓形绝缘子、针式绝缘子和蝶式绝缘子。其中鼓形绝缘子，一般可直接敷设于建筑物表面。针式绝缘子和蝶式绝缘子用于室外布线。

1) 用鼓形绝缘子、针式绝缘子在屋内、外布线以及直敷布线时，绝缘导线至地面的最小距离：屋内水平敷设时为  $2.5\text{m}$ ，垂直敷设时为  $1.8\text{m}$ ，屋外均为  $2.7\text{m}$ 。小于上述数值时，导线应套管保护。

2) 用鼓形绝缘子、针式绝缘子在屋内、外布线时，绝缘导线的间距应不小于表 6.1-12 所列数值。

表 6.1-12 屋内、外布线的绝缘导线的最小间距

固定点间距 $L$ (m)	导线最小间距 (mm)	
	屋内布线	屋外布线
$L \leq 1.5$	50	100
$1.5 < L \leq 3$	75	100
$3 < L \leq 6$	100	150
$6 < L \leq 10$	150	200

3) 屋内用绝缘导线敷设时，导线固定点的最大间距应不大于表 6.1-13 所列数值。

表 6.1-13 绝缘导线固定点最大间距

布线方式	导线截面积 ( $\text{mm}^2$ )	固定点间最大间距 (mm)
绝缘子直接固定 墙面、顶棚面下布线	1~4	1500
	6~10	2000
	16~25	3000
直敷布线（护套绝缘导线）	$\leq 6$	300

4) 屋外布线的绝缘导线至建筑物的最小间距应不小于表 6.1-14 所列数值。

表 6.1-14 屋外绝缘导线至建筑物的最小间距

布线方式	最小间距 (mm)
水平敷设时垂直间距在阳台、平台上和跨越建筑物顶	2500
导线至墙壁和构架的间距（挑檐下除外）	50

### (3) 钢索布线

钢索适用于大跨度、层高较高的车间内照明配线。

1) 屋内场所钢索的材料宜采用镀锌钢绞线。屋外布线以及敷设在潮湿或有酸、碱、盐腐蚀的场所，应采取防腐措施。钢索上绝缘导线至地面的距离，在屋内时为  $2.5\text{m}$ ，屋外时为  $2.7\text{m}$ 。

2) 钢索所用的钢绞线的截面，应根据跨距、荷重和机械强度选择，最小截面不宜小于  $10\text{mm}^2$ 。钢索固定件应镀锌或涂防锈漆。钢索的安全系数应不小于 2.5。钢索两端需拉紧，且其弛度应不大于  $100\text{mm}$ 。跨距较大时应在钢索中间增加支持点，中间的支持点间距应不大于  $12\text{m}$ 。

3) 钢索布线用绝缘导线明敷设时，应采用鼓形绝缘子固定在钢索上。用护套绝缘导线、电缆、金属管或硬质材料管布线时，可直接固定在钢索上。

4) 钢索上吊装金属管或硬质塑料管布线的支持点最大间距应符合表 6.1-15 所列数值。吊装接线盒、管路的扁钢卡子宽度应不小于  $20\text{mm}$ ，吊装接线盒的卡子应不少于 2 个。

表 6.1-15 钢索上吊装金属（或硬塑料）管支持点最大间距

布线类别	支持点之间 (mm)	支持点距灯头盒 (mm)
钢管、电线管、硬塑料管	1500	200
	1000	150

5) 钢索上吊装护套线时，用铝卡子直敷在钢索上，其支持点间距应不大于  $500\text{mm}$ ，卡子距接线盒应不大于  $100\text{mm}$ ；用橡胶及塑料护套线时，接线盒应用塑料制品。

6) 钢索上吊装绝缘子布线时，支持点的间距应不大于  $1.5\text{m}$ ，线间距离在屋内不小于  $50\text{mm}$ ，在屋外不小于  $100\text{mm}$ ；扁钢吊架终端应加镀锌铁丝拉线，其直径不应小于  $3\text{mm}$ 。

### 3.1.3 电线穿管敷设

#### (1) 管材选择

1) 明敷设于潮湿环境或直埋于素土内的金属管布线，应采用焊接钢管。明敷设或暗敷设于干燥环境的金属管，可采用管壁厚度不小于  $1.5\text{mm}$  的电线钢管，也可采用管壁厚度不小于  $1.6\text{mm}$  的扣接式（KBG 管）或紧定式（JDG 管）镀锌电线管。

2) 有酸碱盐腐蚀介质的环境，应采用阻燃型塑料管敷设，但在易受机械损伤的场所不宜采用明敷设。暗敷设或埋地敷设时，引出地（楼）面一段管路应采取防止机械损伤的措施。

#### (2) 敷设要求

1) 穿管敷设的绝缘导线，其电压等级应不低于交流  $750\text{V}$ 。

2) 3 根以上绝缘导线穿同一根管时，导线的总截面积（包括外护层）应不大于管内净面积的 40%，2 根绝缘导线穿同一根管时，管内径应不小于 2 根导线直径之和的 1.35 倍，并符合下列要求：

① 管子没有弯时的长度不超过  $20\text{m}$ 。

② 管子有一个弯（ $90^\circ \sim 120^\circ$ ）时的长度不超过  $20\text{m}$ 。

③ 管子有二个弯（ $90^\circ \sim 120^\circ$ ）时的长度不超过  $15\text{m}$ 。

④ 管子有三个弯（ $90^\circ \sim 120^\circ$ ）时的长度不超过  $8\text{m}$ 。

每两个  $120^\circ \sim 150^\circ$  的弯，相当于  $90^\circ \sim 120^\circ$  的弯。若长度超过上述要求时应加设拉线盒、箱或加大管径。



3) 不同回路、不同电压、不同电流种类的导线,不得穿入同一管内。但下列情况下除外:

①一台电机的所有回路。

②同一设备或同一流水作业线设备的电力回路和无防干扰要求的控制回路。

③无防干扰要求的各种用电设备的信号回路、测量回路、控制回路。

④同一照明花灯的几个回路。

⑤标称电压为 50V 以下的回路。

正常照明与应急照明线路不得共管敷设。

互为备用的线路不得共管。控制线缆与动力线缆共管时,当线路较长或弯头较多时,控制线缆总截面不应小于动力线缆总截面的 10%。

4) 穿线管埋地时不宜穿过设备基础。

5) 电线管与热水管、蒸汽管同侧敷设时,应敷设在热水管、蒸汽管的下面;当有困难时,可敷设在其上面,与热水管、蒸汽管的净距不宜小于下列数值:

①当电线管敷设在热水管下面时为 0.2m,在上面时为 0.3m。

②当电线管敷设在蒸汽管下面时为 0.5m,在上面时为 1.0m。当不能符合上述要求时,应采取隔热措施。对有保温措施的蒸汽管,上下均可减至 0.2m。

③电线管与其他管道(不包括可燃气体及易燃、可燃液体管道)的平行净距不应小于 0.1m。当与水管同侧敷设时,宜敷设在水管的上面。

6) 穿金属管的交流线路,应使所有的相线和零线在同一管内。

7) 在同一管道内有几个回路时,所有绝缘导线都应采用与最高标称电压回路绝缘相同的绝缘。

8) 管线明敷设时(沿水平或垂直方向敷设),其固定点最大间距不应大于表 6.1-16 所列数值。

表 6.1-16 管线明敷设时固定点间最大间距 单位: m

管子类别	管径(公称管径, mm)				
	15~20	25~32	38~40	50~51	63~100
钢管	1.5	2	2	2.5	3.5
电线管	1	1.5	2	2	2
硬塑料管	1	1.5	1.5	2	2

注 钢管的公称管径指内径,电线管和硬塑料管管径指外径。

### 3.1.4 线槽敷设

1) 线槽布线宜用于干燥和不易受机械损伤的场所。

2) 线槽有塑料(PVC)线槽、金属线槽、地面线槽等。塑料线槽应为难燃型材料,其氧指数应为 27 以上。

3) 线槽内导线总截面积不应超过线槽内截面积的 20%,载流导线不超过 30 根。

4) 金属线槽的吊装支架固定间距,直线段一般为 1500~2000mm,在线槽始、末端 200mm 处及线槽走向改变或转角处应加装支架。

## 3.2 电缆敷设

### 3.2.1 一般规定

#### (1) 敷设方式

应根据建筑环境特征、敷设电缆的数量等因素选择敷设方式,电缆的敷设方式有电缆在支架、吊架、桥架、托盘、钢索上明敷设,电缆在管道内、排管内敷设,电缆地下直埋敷设,在电缆沟和电缆隧道敷设等。

#### (2) 路径选择

选择电缆路径时,应考虑下列要求:

1) 电缆线路应尽量避免具有电腐蚀、化学腐蚀、机械振动或外力干扰的区域。

2) 电缆线路周围不应有热力管道或设施,以免降低电缆的额定载流量和使用寿命。

3) 应使电缆线路不易受虫害(如蜂蚁和鼠害等)。

4) 便于维护。

5) 选择尽可能短的路径,避开场地规划中的施工用地或建设用地。

6) 应尽量减少穿越管道、公路、铁路、桥梁及经济作物种植区的次数,必须穿越时最好垂直穿过。

7) 城市电缆应尽量可能敷设在非繁华区的隧道或沟道内,否则应敷设在非繁华区的人行道下面。

8) 在城市和企业新区敷设电缆时,应考虑到电缆线路附近的发展、规划,尽量避免电缆线路因建设需要而迁移。

#### (3) 敷设要求

1) 电缆敷设的弯曲半径与电缆外径的比值(最小值),不应小于表 6.1-17 所列数值。

表 6.1-17 电缆敷设的弯曲半径与电缆外径的比值(最小值)

电缆护套类型		电力电缆		其他多芯电缆
		单芯	多芯	
金属护套	铅	25	15	15
	铝	30	30	30
	皱纹铝套和皱纹钢套	20	20	20
非金属护套		20	15	无铠装 10 有铠装 15

注 电力电缆中包括橡皮、塑料绝缘铠装和无铠装电缆。

2) 电缆支架间或固定点间的最大间距,不应大于表 6.1-18 所列数值。

表 6.1-18 电缆支架间或固定点间的最大间距 单位: m

敷设方式	钢带铠装电力电缆	全塑电力、控制电缆	钢丝铠装电缆
水平敷设	1.0	0.8 (0.4)	3.0
垂直敷设	1.0	1.0	6.0

注 如果不是每一支架固定电缆时,应用括号内数字。

3) 不应在有易燃、易爆及可燃的气体或液体管道的沟道或隧道内敷设电缆。

4) 不宜在热力管道的沟道或隧道内敷设电力电缆。

5) 敷设电缆的构架,宜采取热镀锌或其他防腐措施。在有较严重腐蚀的环境中,还应采取相适应的防腐措施。

6) 当电缆成束敷设时,宜采用阻燃电缆。

7) 在确定电缆构筑物时,需结合建设规划,预留备用支架或孔眼。

8) 电缆的敷设长度,宜在进户处、接头、电缆头处或地沟及隧道中留有一定余量。

#### (4) 单芯电缆敷设

1) 交流回路中的单芯电缆不应采用磁性材料护套铠装的电缆。

2) 三相系统中使用的单芯电缆,应组成紧贴的正三角形排列,每隔 1~1.5m 应用绑带扎紧,避免松散。

3) 使并联电缆间的电流分布均匀。

4) 接触电缆外皮时应无危险。

5) 穿金属管时,同一回路的各相和中性线单芯电缆应穿在同一管中。

6) 防止引起附近金属部件发热。

3.2.2 电缆埋地敷设

1) 电缆直埋敷设,施工简单、投资省,电缆散热好,因此在电缆根数较少时应首先考虑采用。

2) 直埋敷设应使用具有铠装和防腐层的电缆。

3) 电缆直接埋地敷设时,沿同一路径敷设的电缆数不宜超过 8 根。

4) 电缆在屋外直接埋地敷设的深度:人行道下应不小于 0.8m,车行道下应不小于 0.8m,穿越农田时应不小于 1m。敷设时,应在电缆上面、下面各均匀铺设 100mm 厚的软土或细沙层,再盖混凝土板、石板或砖等保护,保护板应超出电缆两侧各 50mm。

在寒冷地区,电缆应敷设在冻土层以下。当无法深埋时,可增加铺设细沙的厚度,使其达到上下各为 100mm 以上。

5) 禁止将电缆放在其他管道上面或下面平行敷设。

6) 电缆在壕沟内作波状敷设,预留 1.5% 的长度,以免电缆冷却缩短受到拉力。

7) 在土壤中含有对电缆有腐蚀性物质(如酸、碱、矿渣、石灰等)或有地中电流的地方,不宜采用电缆直接埋地敷设。如必须敷设时,视腐蚀程度,采用塑料护套电缆或防腐电缆。

8) 电缆通过下列各地段应穿管保护,穿管的内径应不小于电缆外径的 1.5 倍。

① 电缆通过建筑物和构筑物的基础、散水坡、楼板和穿过墙体等处。

② 电缆通过铁路、道路和可能受到机械损伤等地段。

③ 电缆引出地面 2m 至地下 200mm 处的一段和人容易接触使电缆可能受到机械损伤的地方,除了穿管保护外,也可采用保护罩保护。

9) 直接埋地电缆引入隧道、人孔井,或建筑物在贯穿墙壁处添加的保护管,应堵塞管口,以防水的渗透。

10) 电缆与建筑物平行敷设时,电缆应埋设在建筑物的散水坡外。电缆引入建筑物时,所穿保护管长度应超出建筑物散水坡 100mm。

11) 埋地敷设的电缆之间及各种设施平行或交叉时的最小净距,应不小于表 6.1-19 所列数值。

表 6.1-19 埋地敷设的电缆之间及各种设施

平行或交叉时的最小净距 单位: m

项 目	敷设条件	
	平行时	交叉时
建筑物、构筑物基础	0.5	
电杆	0.6	
乔木	1.5	0.5 (0.25)
灌木丛	0.5	0.5 (0.25)
10kV 以上电力电缆之间及其与 10kV 及以下和控制电缆之间	0.25	0.5 (0.25)
10kV 以下电力电缆之间及其与控制电缆之间	0.1	0.5 (0.25)
控制电缆之间		0.5 (0.25)
通信电缆,不同部门使用的电缆	0.5 (0.1)	0.5 (0.25)
热力管沟	2.0	0.5

续表

项 目	敷设条件	
	平行时	交叉时
水管、压缩空气管	1.0 (0.25)	0.5 (0.25)
可燃气体及易燃液体管道	1.0	0.5 (0.25)
铁路(平行时与轨道,交叉时与轨底,电气化铁路除外)	3.0	1.0
道路(平行时与路边,交叉时与路面)	1.5	1.0
排水明沟(平行时与沟边,交叉时与沟底)	1.0	0.5

注 1. 表中所列净距,应自各种设施(包括防护外层)的外缘算起。  
2. 路灯电缆与道路灌木丛平行距离不限。  
3. 表中括号内数字,是指局部地段电缆穿管,加隔板保护或加隔热层保护后允许的最小净距。

3.2.3 电缆穿管敷设

1) 保护管的内径不小于电缆外径(包括外护层)的 1.5 倍。

2) 保护管弯曲半径为保护管外径的 10 倍,且应不小于所穿电缆的最小允许弯曲半径,其与电缆外径的最小比值见表 6.1-17。

3) 当电缆有中间接头盒时,在接头盒的周围应有防止因发生事故而引起火灾延燃的措施。

4) 电缆穿管没有弯头时,长度不宜超过 30m;有 1 个弯头时,不宜超过 20m;有 2 个弯头时,不宜超过 15m。

5) 电缆穿保护管的最小内径见表 6.1-20。

表 6.1-20 电缆穿保护管的最小内径

三芯电缆芯线截面 (mm <sup>2</sup> )			四芯电缆芯线截面 (mm <sup>2</sup> )	保护管最小内径 (mm)
1kV	6kV	10kV	≤1kV	
≤70	25	—	≤50	50
95~150 (95~120)	35~70 (16~70)	≤50	70~120	70
185 (150~185)	95~150 (95~120)	70~120	150~185	80
240	185~240 (150~240)	150~240	240	100

注 表中括号内截面用于塑料护套电缆。

3.2.4 电缆在排管内敷设

1) 电缆在排管内敷设适用于敷设电缆数量较多,且有机动车等重载的地段,如主要道路、穿越公路、穿越绿化地带、穿越小型建筑物等。

2) 电缆在排管内敷设,应采用塑料护套电缆或裸铠装电缆。

3) 电缆在排管内敷设,同路径敷设数量一般不宜超过 16 根。

4) 排管孔的内径应不小于电缆外径的 1.5 倍,但穿电力电缆的管孔内径应不小于 90mm,穿控制电缆的管孔内径应不小于 75mm。

5) 电缆排管的敷设安装应符合下列要求:

① 排管安装时,应有倾向人孔井侧不小于 0.5% 的排水坡度,并在人孔井内设集水坑,以便集中排水。

② 排管顶部距地面应不小于 0.7m,在人行道下面时应不小于 0.5m。

③排管沟底部应垫平夯实，并应铺设厚度不小于 60mm 的混凝土垫层。

6) 在转角、分支或变更敷设方式改为直埋或电缆沟时，应设电缆人孔井。在直线段应配置一定数量的电缆人孔井，人孔井的距离不宜大于 150~200m。

7) 电缆人孔井的净空高度应不小于 1.8m，其上部人孔的直径应不小于 0.7m。

8) 电缆排管可采用混凝土管、陶土管或塑料管，尽量采用标准孔径和孔数。

9) 电缆排管应预留通信专用孔。

### 3.2.5 电缆在沟内和隧道内敷设

#### (1) 电缆沟

1) 电缆沟可分为无支架沟、单侧支架沟、双侧支架沟三种。

2) 屋内电缆沟的盖板应与屋内地坪相平，在容易积水积灰处，宜用水泥沙浆或沥青将盖板缝隙抹死。

3) 屋外电缆沟的沟口宜高出地面 50mm，以减少地面排水进入沟内。但当盖板高出地面影响地面排水或交通时，可采用具有覆盖层的电缆沟，盖板顶部一般低于地面 300mm。

4) 屋外电缆沟在进入建筑物（或变电所）处，应设有防火隔墙。

5) 电缆沟一般采用钢筋混凝土盖板，盖板重量不宜超过 50kg。在屋内需经常开启的电缆沟盖板，宜采用花纹钢盖板。

6) 电缆沟应采取防水措施。底部还应做不小于 0.5% 的纵向排水坡度，并设集水坑（井）。积水的排出，有条件时可直接排入下水道，否则可经集水井用泵排出。电缆沟较长时应考虑分段排水，每隔 50m 左右设置一个集水井。

#### (2) 电缆隧道

当出现电缆数量太多（一般为 40 根）时，应考虑电缆在电缆隧道内敷设。

1) 电缆隧道长度大于 7m 时，两端应设出口（包括人孔井）。当两个出口之间的距离超过 75m 时，应增加出口。人孔井的直径应不小于 0.7m。

2) 电缆隧道内应有照明，电压应不超过 24V，否则需采取安全措施。

3) 隧道内净高应不低于 1.9m，局部或与管道交叉处净高不宜低于 1.4m。

4) 电缆隧道应有防水措施，底部还应做成不小于 0.5% 的纵向排水坡度，而排水边沟向集水井也应有 0.5% 的坡度。

5) 隧道进入建筑物（或变电所）处、在建筑物围墙处以及在长距离隧道中每隔 100m 处，应设置带门的防火隔墙。该门应用非燃烧材料或难燃材料制作，并应装锁。电缆过墙时的保护管两端应用阻燃材料堵塞。

6) 电缆隧道应尽量采用自然通风。当隧道内的电缆电力损失超过 150~200W/m 时，需考虑采用机械通风。

7) 与电缆隧道无关的管线不得通过电缆隧道。电缆隧道与其他地下管线交叉时，应尽可能避免隧道局部下降。

#### (3) 电缆敷设

1) 在室内、沟内和隧道内敷设的电缆，应采用不应有黄麻或其他易燃外护层的铠装电缆，在确保无机械外力时，可选用无铠装电缆；易发生机械振动的区域必须使用铠装电缆。

2) 电缆在电缆沟或隧道内敷设时的最小净距，不宜小

于表 6.1-21 所列数值。

表 6.1-21 电缆在电缆沟、隧道内敷设时的最小净距

单位：mm

敷 设 方 式		电缆隧道 净高	电缆沟	
		≥1900	沟深≤600	沟深>600
通道宽度	两边有支架时， 架间水平净距	1000	300	500
	一边有支架时， 架与壁间水平净距	900	300	450
支架层间的 垂直净距	电力电缆 35kV	250	200	200
	≤10kV	200	150	150
	控制电缆	120	100	100
电力电缆间的水平净距 (单芯电缆品字形布置时除外)		35 但不小于电缆外径		

3) 当电缆沟内电缆不超过 5 根时，可采用无支架沟，电缆敷设于沟底。

4) 电缆在多层支架上敷设时，高压电缆位于最底层，低压电缆位于最上层；电力电缆应放在控制电缆的上层，但 1kV 及以下的电力电缆和控制电缆可并列敷设。当两侧均有支架时，1kV 及以下的电力电缆和控制电缆，宜与 1kV 以上的电力电缆分别敷设于两侧支架上。盐雾地区或化学腐蚀地区的支架宜涂防腐漆或采用玻璃钢支架。

5) 电缆在沟内敷设时，支架的长度不宜大于 350mm。

6) 电缆在隧道内敷设时，支架的长度应不大于 500mm。

7) 在火灾危险环境和爆炸危险环境采用非密闭性电缆沟时，应在沟中充沙，并使电缆上、下各有 100mm 厚的细沙。电缆穿出地面时应穿管，并对管口进行防爆隔离密封处理。

### 3.2.6 电缆明敷设

电缆明敷设一般采用支架、吊架、托盘、桥架、钢索等方式。

1) 电缆在屋内明敷设时，不应有黄麻或其他易燃的外护层，否则应予剥去，并刷防腐漆。

2) 电缆在屋外明敷设时，尤其是有塑料或橡胶外护层的电缆，应避免日光长时间直晒，必要时应加装遮阳罩或采用耐日照电缆。

3) 明敷设 1kV 及以下电力及控制电缆，与 1kV 以上电力电缆宜分开敷设。当需并列敷设时，其净距应不小于 150mm。相同电压的电力电缆相互间的净距应不小于 35mm，并应不小于电缆外径，在梯架、托盘内敷设时不受此限。

4) 电缆在梯架、托盘或线槽内可以无间距敷设。电缆在梯架、托盘或线槽内横断面的填充率，电力电缆不应大于 40%，控制电缆应不大于 50%。

5) 电缆在屋内埋地、穿墙或穿楼板时，应穿保护管。

6) 无铠装电缆在屋内水平明敷设时，电缆至地面的距离应不小于 2.5m；垂直敷设高度在 1.8m 以下时，应有防止机械损伤的措施，但明敷设在电气专用房间内时不受此限。

7) 明敷电缆与其他管道之间的最小净距，见表 6.1-23。

8) 电缆桥架内每根电缆的首端、尾端、转弯处及每隔 50m 处应设标记，注明电缆编号、型号规格、起点和终点。

9) 明敷设电缆时，应按表 6.1-22 所列部位将电缆

固定。

表 6.1-22 明敷电缆时电缆固定部位

敷设方式	构 架 型 式	
	电缆支架	电缆梯架、托盘或线槽
垂直敷设	1. 电缆的首端、尾端 2. 电缆与每个支架的接触处	1. 电缆的上端 2. 每隔 1.5~2.0m 处
水平敷设	1. 电缆的首端、尾端 2. 电缆与每个支架的接触处	1. 电缆的首端、尾端 2. 电缆转弯处 3. 电缆其他部位每隔 5~10m 处

10) 在爆炸危险环境明敷电缆过墙时应穿钢管, 并需增设相应防爆隔离密封。

11) 在火灾危险环境明敷电缆过墙时应穿钢管, 钢管内并需用防火堵料填堵。在使用塑料管时, 应具有满足工程条件的难燃自熄性要求。

3.2.7 屋内电气线路和其他管道之间的最小净距

屋内电气线路与其他管道之间的最小净距, 见表 6.1-23。

表 6.1-23 屋内电气线路与其他管道之间的最小净距

敷设方式	管道及设备名称	穿线管	电缆	绝缘导线	裸导线 (母) 线	滑触线	母线槽	配电设备
平行 (m)	煤气管	0.5	0.5	1.0	1.8	1.5	1.5	1.5
	乙炔管	1.0	1.0	1.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	氧气管	0.5	0.5	0.5	1.8	1.5	1.5	1.5
	蒸汽管	1.0/ 0.5	1.0/ 0.5	1.0/ 0.5	1.5	1.5	1.0/ 0.5	0.5
	热水管	0.3/ 0.2	0.1	0.3/ 0.2	1.5	1.5	0.3/ 0.2	0.1
	通风管	0.1	0.1	0.2	1.5	1.5	0.1	0.1
	上下水管	0.1	0.1	0.2	1.5	1.5	0.1	0.1
	压缩空气管	0.1	0.1	0.2	1.5	1.5	0.1	0.1
	工艺设备	0.1			1.5	1.5		
交叉 (m)	煤气管	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	
	乙炔管	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
	氧气管	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	
	蒸汽管	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	
	热水管	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	通风管	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	上下水管	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	压缩空气管	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	工艺设备	0.1			1.5	1.5		

注 1. 表中分子数字为线路在管道上面时及分母数字为线路在管道下面时的最小净距。  
2. 线路与蒸汽管不能保持表中距离时, 可在蒸汽管与线路间加隔热层, 平行净距可减至 0.2m, 交叉处只需考虑施工维修方便。  
3. 线路与热水管道不能保持表中距离时, 可在热水管外包隔热层。  
4. 裸母线与其他管道交叉不能保持表中距离时, 应在交叉处的裸母线外加装保护网或罩。

3.2.8 预制分支电缆敷设

- 1) 分支电缆一般适用于高层建筑物内垂直配电干线。
- 2) 分支电缆主干电缆一般采用单芯或绞型, 分支电缆一般采用单芯电缆。
- 3) 分支电缆水平敷设时应在电缆桥架内, 垂直敷设时一般在竖井内。

3.2.9 矿物绝缘电缆敷设

- 1) 矿物绝缘电缆敷设方法有明敷设、桥架敷设、支架

敷设、架空敷设、埋地敷设、穿管敷设、托架敷设等。

2) 电缆敷设时, 其固定点之间的间距, 除支架敷设在支架固定处外, 其余可按表 6.1-24 的数据固定。

表 6.1-24 固定点之间的间距

电缆外径 (mm)		$D < 9$	$9 \leq D < 15$	$D \geq 15$
固定点之间的最大距离 (mm)	水平	600	900	1500
	垂直	800	1200	2000

3) 电缆敷设时, 在转弯处、中间连接器两侧, 应固定。

4) 对电缆在运行中可能遭受到机械损伤的部位, 应采取适当的保护措施。

5) 在对铜护套有腐蚀作用的环境中敷设时, 应采用塑料外护套。

6) 单芯电缆敷设时, 应进行整理绑扎, 避免电缆交叉, 绑扎间距以 1~1.5m 为宜。

7) 对于大截面单芯电缆, 用于交流电网时应采取涡流消除措施, 在电缆进配电箱、柜处, 应采取措施以防涡流产生。

8) 电缆直线敷设超过 70m 或在电缆与电机、水泵、风机等有震动的设备连接处也应设置膨胀环。

9) 埋地敷设时, 不应有中间接头, 如无法避免, 则接头处需做好防水处理。

10) 矿物绝缘电缆在终端头和中间头安装之后, 应再次进行绝缘测试。

3.2.10 母线槽敷设安装

1) 母线槽一般适用于干燥、无腐蚀性气体、无热冷急剧变化的屋内。

2) 母线槽至地面的距离应不小于 2.2m; 垂直敷设时, 距地面小于 1.8m 部分应采取防止机械损伤的措施, 但安装在配电室、电机室、电气竖井等电气专用房间时不受此限制。

3) 母线槽终端无引出、引入线时, 端头应封闭。

4) 母线槽在穿越楼板及墙壁处应采取防火封堵措施。

3.3 竖井内线缆敷设

3.3.1 竖井设置

竖井适用于多层和高层建筑物内垂直配电干线的敷设。

(1) 竖井的位置和数量

应根据供电半径、建筑物的沉降缝设置、防火分区等因素确定竖井的位置和数量。

1) 靠近用电负荷中心, 尽量减少干线电缆的长度和电能损耗。

2) 不应和电梯、管道共用同一竖井。

3) 避免贴近烟囱、热力管道及其他散热量大或潮湿的设施。

4) 强电和弱电线路数量及种类较多时, 可分别设置强电和弱电竖井。

(2) 防火要求

竖井的井壁应是耐火极限不低于 1h 的非燃烧体。竖井内地坪通常高于该楼层地坪 50mm。竖井在每层楼应设维修门, 采用乙级防火门并向公共走廊开启, 同时楼层间应有防火密封隔离措施。

3.3.2 线缆敷设

1) 竖井内的电气线路一般有以下五种敷设方式:

①绝缘导线穿管明敷设。

②电力电缆在桥架上明敷设,竖井内一般采用梯形电缆桥架。

③母线槽沿墙直接敷设。

④裸母排敷设于支架绝缘子上。

⑤预制分支电缆沿墙直接敷设。

2) 电缆和绝缘线在楼层间穿钢管时,两端管口应用防火堵料作密封隔离。

3) 竖井内的高压、低压和应急电源的电气线路,相互之间的距离应在300mm以上,或采取隔离措施,并且高压线路应设有明显标志。

4) 当强电和弱电线路在同一竖井内敷设时,应分别在竖井的两侧敷设或采取防止强电对弱电干扰的措施。

5) 竖井内同一配电干线,宜采用等截面导体,如需变

截面时不宜超过二级,并应符合线路保护要求。

6) 竖井垂直布线时应注意以下问题:

①顶部最大垂直变位和层间垂直变位对干线的影响。

②垂直干线载流量要留有一定的裕度。

③垂直干线支干线的连接方便,安装牢固。

④选用母线槽要有足够的强度,采用裸母排时,必须在每层总长度范围内加保护网,以防人体触及带电体。

7) 管路垂直敷设时,应按下列要求装设导线固定盒,在盒内用线夹将导线固定:

①导线截面积在 $50\text{mm}^2$ 及以下,长度大于30m的情况下。

②导线截面积在 $50\text{mm}^2$ 以上,长度大于20m的情况下。



## 第2章 建筑工程空调系统

### 1 空调系统设备

空气调节是在任何自然环境下,使房间或封闭空间内的空气温度、湿度、气流速度、洁净度、新鲜度等参数,部分或全部达到规定指标的一门技术。

就空调的服务对象而言,可分为工艺性空调和舒适性空调两大类。前者是为了满足生产、科研等工艺过程对空气参数的要求,以保证产品(或科研)质量和工艺过程的顺利进行。后者是向人们提供一个适宜的工作或生活环境,有利于提高工作效率和保障人们的身心健康。

就一年中空调的使用时间不同,还可分为季节性空调(即冬季空调、夏季空调)和全年性空调。工艺上使用的恒温恒湿空调系统,就是要在全年内使空调房间的空气参数维持在规定的范围内。

要使室内空气参数保持在一定的范围内,必须不断地克服来自外部的和内部的对室内空气环境的干扰因素。要克服外部干扰和内部干扰对房间环境的作用,根据不同季节的室内热、湿负荷的具体情况,需要对送入房间的空气进行过滤、冷却与减湿、加热与加湿处理。房间空调器或空调机组就是完成上述任务的一种空气处理设备。

#### 1.1 空调系统的分类

空调系统按其特点,可以有多种分类方法,但主要有以下两种。

##### 1.1.1 按负担室内热湿负荷所用介质来分

可分为全空气系统、空气-水系统、全水系统和制冷机直接蒸发系统。

###### (1) 全空气系统

利用空气作为负担室内负荷的介质(即利用空气来向室内输送冷量或热量),也就是说,将经过处理的空气送入空调房间内,在夏季,同时消除室内的余热余湿后,使室内的温度、湿度保持在一定范围内;在冬季,在消除室内余湿的同时,也可向室内补充热量。由于空气的比热容较小,为消除余热、余湿所需的送风量大,风管(道)的断面尺寸大,因此需要占用较多的建筑空间。

目前,全空气系统有单风管定风量方式、单风管变风量方式、双风管方式和全空气诱导器方式等。

1) 单风管定风量方式。也称单风管空调系统,是指全空气、低速、定风量的集中式系统。夏季送冷风和冬季送热风均用同一条送风管和回风管。保持送风量恒定,用改变送风温度来适应室内负荷的变化。它是全空气系统中最基本、最常用的空调方式,简称CAV。

2) 单风管变风量方式。它与单风管定风量方式不同之处在于,保持送风温度恒定,用改变送风量的办法来适应室内负荷的变化,简称VAV。

3) 双风管方式。也称双风管空调系统,它是将经过集中加热和集中冷却处理的两种状态的空气,分别由两条独立风管(即热风管和冷风管),送至各末端装置,经混合后送入空调房间,而回风管是集中布置的。为利于混合箱的工

作,常采用包括送风机和回风机在内的双风机系统。这种方式由于造价昂贵、冷热风混合时有能量损失、送风动力消耗大和布置困难等原因,目前已很少使用。

4) 全空气诱导器方式。它是将一次风(通常是冷风)用高速送入诱导机组,由专用喷嘴喷出,将周围空气(称为二次风)诱导进来,再送入室内。这种全空气诱导机组,靠室内恒温器对一次风或二次风的风量进行调节,来保持室内所需的温度。这种方式属于半集中式系统。通常将诱导机组设在空调房间的吊顶内。

###### (2) 空气-水系统

同时利用空气和水作为负担室内负荷的介质(即利用空气、水向室内输送冷量或热量),如风机盘管加新风系统、诱导器空调系统就属于这一类。风机盘管机组是一种空气处理设备,通常将它设在空调房间内就地处理空气。夏季向该机组供给冷媒水,可对室内空气进行冷却减湿处理,向房间送冷风;冬季向该机组供给热媒水,可对室内空气进行加热处理,向房间送热风。可见,风机盘管机组用于保证室内的温度、湿度,室内负荷的大部分由水来负担。向房间送入新风是为了稀释室内污染物,满足房间卫生要求,因此风量不大,新风风管断面尺寸较小,新风仅负担小部分室内负荷。风机盘管机组所需的冷媒水和热媒水是集中供应的。

###### (3) 全水系统

全水系统是指不向房间供给新风的风机盘管机组空调系统,室内负荷全部由供给机组的水(冷媒水或热媒水)来负担。该机组用于就地处理空调房间内的空气,相对于空气-水系统卫生条件差一些。

###### (4) 制冷剂直接蒸发系统

制冷剂直接蒸发系统是指自带冷源的窗式空调器、分体式空调器和柜式空调器等,统称为房间空调器或单元式空调器。通常安装在被调的房间内,就地处理空气。夏季依靠制冷剂的直接蒸发,对空气进行冷却减湿处理,送出冷风。冬季,对普通型空调器,利用自带的电加热器加热空气;而对热泵型空调器,则利用四通换向阀的换向,以实现蒸发器与冷凝器功能的转换,利用冷凝器释放的热量,向房间送出热风。

##### 1.1.2 按空气处理设备的设置情况来分

可分为集中式系统、半集中式系统和全分散系统。

###### (1) 集中式系统

将所有空气处理设备(包括风机、表冷器、加热器、加湿器和过滤器等)都集中在空调机房内。被处理空气的温度、湿度,在空气处理机内进行集中调节后,经风管(道)输送到空调房间。根据季节和室内热湿负荷的变化,可在空气处理机内及时进行切换和调整。

###### (2) 半集中式系统

除了设在集中空调机房内的空气处理机外,在各个空调房间还分别设有处理空气的“末端设备”,它的功能主要是在空气进入被调房间之前,对集中处理过的空气再进行一次处理,如风机盘管机组、诱导器机组等。前面提到的风机盘



管加新风空调系统,属于半集中式系统。

### (3) 全分散系统

全分散系统又称局部空调系统,是由房间空调器来承担空调任务的。

通常人们习惯地将集中式和半集中式系统统称为中央空调系统,其主要标志之一是空调所需的冷媒水和热媒水是集中供应的。

此外,按照系统的风量是否固定来分,可分为定风量和变风量空调系统;按照系统风管(道)内空气流速的高低来分,可分为低速(气流速度小于 $8\text{m/s}$ )和高速(气流速度在 $20\sim 30\text{m/s}$ )空调系统。

## 1.2 空调系统的组成

中央空调系统通常由以下5个部分组成:

### 1.2.1 空气处理设备

空气处理设备的作用是将空气处理到一定的状态,有集中处理送风的空调机组、集中处理新风的新风机组和设在空调房间内处理空气的“末端设备”——风机盘管机组等。

### 1.2.2 冷源和热源

冷源和热源是实现空气处理过程所必需的。

#### (1) 冷源装置

冷源是为空气处理设备集中提供一定温度的冷媒水。工程中常见的空调用制冷装置为各种类型的冷水机组,目前常用的制冷方式主要有压缩式制冷和吸收式制冷两种形式。中央空调系统常用的载冷剂是水,在一些要求特殊的场所,也有采用水与其他物质组成的混合水溶液,如盐水、乙二醇水溶液等。

1) 压缩式制冷。压缩式制冷循环的基本原理如图6.2-1所示。

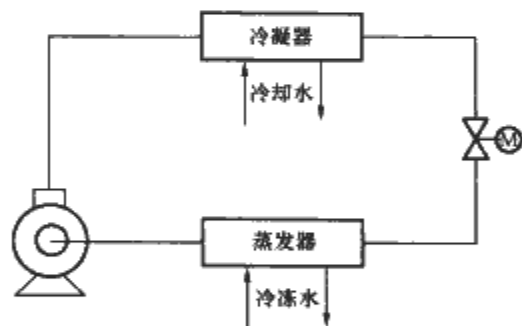


图 6.2-1 压缩式制冷循环基本原理

低压制冷剂蒸汽在压缩机内被压缩为高压蒸汽后进入冷凝器,制冷剂和冷却水在冷凝器中进行热交换,制冷剂放热后变为高压液体,通过热力膨胀阀后,液态制冷剂压力急剧下降,变为低压液态制冷剂后进入蒸发器。在蒸发器中,低压液态制冷剂通过与冷冻水的热交换而发生汽化,吸收冷冻水的热量而成为低压蒸汽,再经过回气管重新吸入压缩机,开始新一轮的制冷循环。在此过程中,制冷量就是制冷剂在蒸发器中进行相变时所吸收的汽化潜热。

从压缩机的结构来看,压缩式制冷大致可分为往复压缩式、螺杆压缩式和离心压缩式三大类。近年来,涡旋压缩式制冷机,也逐步得到应用。

2) 吸收式制冷。吸收式制冷和压缩式制冷一样,都是利用低压制冷剂的蒸汽产生的汽化潜热进行制冷。两者的区别是:压缩式制冷以电为能源,而吸收式制冷则是以热为能源。在民用建筑空调制冷中,吸收式制冷所采用的制冷剂通常是溴化锂水溶液,其中水为制冷剂,溴化锂为吸收剂。因此,通常溴化锂制冷机组的蒸发温度不可能低于 $0^{\circ}\text{C}$ ,在这一点上,可以看出溴化锂制冷的适用范围不如压缩式制冷,

但在民用建筑空调系统中,由于要求空调冷水的温度通常为 $6\sim 7^{\circ}\text{C}$ ,因此还是比较容易满足的。

溴化锂吸收式制冷循环的基本原理如图6.2-2所示。

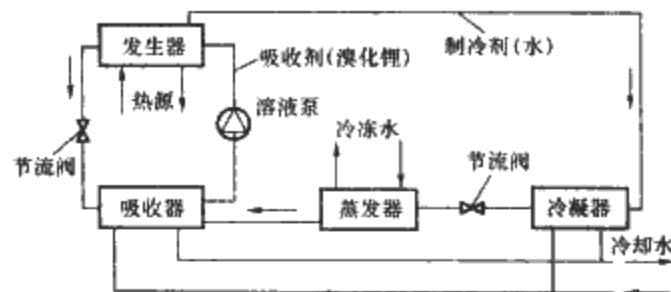


图 6.2-2 溴化锂吸收式制冷循环基本原理

来自发生器的高压蒸汽在冷凝器中被冷却为高压液态水,通过膨胀阀后成为低压蒸汽进入蒸发器。在蒸发器中,冷媒水与冷冻水进行热交换发生汽化,吸收冷冻水的热量后成为低压冷媒蒸汽进入吸收器,被吸收器中溴化锂溶液(又称浓溶液)吸收,吸收过程中产生的热量由送入吸收器中的冷却水带走。吸收后的溴化锂水溶液(又称稀溶液)由溶液泵送至发生器,通过与发生器中的热源(热水或蒸汽)进行热交换而使其中的水发生汽化,重新产生高压蒸汽。同时,由于溴化锂的蒸发温度较高,溴化锂水溶液汽化后,吸收剂则成为浓溶液重新回到吸收器中。在这一过程中,实际上包括两个循环,即制冷剂(水)的循环和吸收剂(溴化锂溶液)的循环,只有这两个循环同时工作,才能保证整个制冷系统的正常工作。

从溴化锂制冷机组制冷循环中可以看出,它的用电设备主要是溶液泵,电量一般为 $5\sim 10\text{kW}$ ,这与压缩式制冷机组相比是微不足道的。因此,在建筑物所在地的电力紧张而无法满足空调要求的前提下,采用低位能源的溴化锂吸收式冷水机组是一种有效的选择。

#### (2) 热源装置

热源是为空气处理设备集中提供一定温度的热媒。空调系统中热源主要有蒸汽和热水两种。

1) 蒸汽。蒸汽热值较高,载热能力大,且不需要输送设备(只靠自身的压力即可送至用户的空调机组中)。其汽化潜热在 $2200\text{kJ/kg}$ 左右(随蒸汽压力的不同略有区别),占使用蒸汽热量的95%以上。在采用蒸汽作为空调热源的工程中,通常都采用表压为 $0.2\text{MPa}$ 以下的蒸汽。当凝结水回水较为畅通时,可以采用背压回水,反之,则应使用凝结水泵。采用蒸汽作为热源时,与之配套使用的一系列附件如减压阀、安全阀和疏水器等,其性能都直接关系到热源的合理利用。

2) 热水。热水在使用安全方面比蒸汽优越,与空调冷水的性质基本相同,传热比较稳定。在空调机组中,采用冷、热盘管合用的方式(即两管制),以减少空调机组及系统的造价,热水能较好地满足此种方式而蒸汽盘管通常不能与冷水盘管合用。再一点就是,使用热水时,不像蒸汽系统那样需要许多的附件,也给运行管理及维护带来了一定的方便。

热源装置主要有锅炉和热交换器两种。供热用锅炉分热水锅炉和蒸汽锅炉。在空调热水系统中,由于空调机组及整个水系统要随建筑的使用要求进行调节与控制,通常设有中间换热器。设有蒸汽锅炉的建筑也为其冬季空调加湿提供一个较好的条件。热交换器有列管式、螺旋式和板式三种结构,主要用于冷热温度的交换。

#### (3) 冷热水机组

直燃吸收式冷水机组(简称直燃机)就是把锅炉与溴化锂吸收式冷水机组组合二为一,通过燃气或燃油产生制冷所需

的能量。直燃机按照功能可分为以下三种形式:

- 1) 单冷型: 只提供夏季空调用冷冻水。
- 2) 冷暖型: 在夏季提供空调用冷冻水, 而在冬季供应空调用热水。
- 3) 多功能型: 除能够提供空调用冷、热水外, 还能提供生活用热水。

直燃机由高/低压发生器、高/低压换热器、冷凝器、蒸发器、制冷剂水泵、溶液泵、控制设备及辅机等主要设备组成。它的工作原理分为制冷循环、供热循环和卫生热水循环三种不同方式。

空调供热循环产生的热水温度一般为  $55 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。在空调供热循环中, 蒸发器用作为冷凝器, 通过阀门的切换使高压发生器产生的冷凝水蒸气直接进入蒸发器与热水进行热交换后变为制冷剂水进入吸收器, 高压发生器产生的中间溶液流入吸收器中, 吸收由蒸发器来的经放热后的制冷剂水而成为稀溶液, 通过溶液泵重新送入高压发生器中, 完成一个供热循环过程。在这一过程中, 制冷剂水泵停止运行。

直燃机可以在空调供冷的同时供应生活热水, 也可同时供应空调热水和生活热水, 但不能同时供应空调用冷、热水。

### 1.2.3 空调风系统

空调风系统的作用是将来自空气处理设备的送风空气, 通过送风风管系统送入空调房间内, 同时从室内抽回相当数量的空气(即回风), 经过回风风管系统送至空气处理设备前, 其中少量的回风被排至室外, 而大部分则被重复利用。

空调风系统包括输送空气的动力设备——通风机, 送(回)风风管系统、风量调节阀、防火阀、消声器、风机减振器及设在空调房间内的各种类型的送风口和回风口等。

### 1.2.4 空调水系统

空调水系统包括冷媒水(制冷水)系统和冷却水系统两个部分。此外, 还包括热媒水制备系统。

冷媒水(制冷水)系统是将由冷水机组制备出的冷媒供水, 通过供水管路送至空气处理设备, 释放出冷量后的冷媒回水经回水管路返回冷水机组。该系统通常为闭式循环环路, 设有冷媒水循环泵、膨胀水箱、分水器和集水器、自动排气阀、除污器和水过滤器、水量调节阀以及控制仪表等。对于冷媒水水质要求较高的冷水机组, 还应设软化水制备装置和补水水箱和补水泵等。

冷却水系统是指将来自冷水机组冷凝器的冷却回水送至冷却塔, 经冷却塔降温后的冷却供水, 进入冷却水水泵, 再由水泵打入冷凝器内, 如此形成循环环路。

冬季空调所需的热媒水, 是通过各种类型的汽-水或水-水热交换器、燃油或燃气的中央热水机组及直燃型溴化锂吸收式冷热水机组等设备制备出来的。

### 1.2.5 控制、检测系统

为了保证空调系统及其冷(热)源的运行工况能随着室外空气状态和室内热、湿负荷的变化而变化, 必须设置必要的控制调节和参数检测系统。它可以是人工进行的, 也可以是自动进行的。

## 2 空调系统控制装置

建筑设备自动化系统现场控制装置主要包含检测变送装置、控制调节装置和执行调节装置。

1) 检测变送装置: 将被控对象的被调参数检测出来, 并将其转换成各类型的能量信号。这些装置主要有各类型传感器(如温度传感器、压力传感器、压差传感器等)。

2) 控制调节装置: 将检测装置送来的被调参数信号与

设定值相比较, 当出现偏差时发出一定规律的控制信号到执行调节装置。这些装置主要有各种直接数字控制器(DDC)、智能调节器和可编程序控制器(PLC)等。

3) 执行调节装置: 根据控制调节装置(控制器)发来的控制信号的大小和方向, 开大或开小调节阀而改变调节参数的数值。这类装置主要包括各种执行器和电动阀门。

### 2.1 检测变送装置

在建筑设备自动化系统中, 往往需要对温度、湿度、压力、流量和物位等参量进行检测和控制, 使之处于最佳的工作状态, 以便用最少的材料及能源消耗, 获得较好的经济效益。对这些参量进行检测变送的装置就是各种各样的传感器。

#### 2.1.1 传感器的概念及性能指标

##### (1) 传感器的基本概念

在自动化控制系统中需要采用微电子技术对各种参数进行检测。这些参数可以分为两大类: 一类是电压、电流、阻抗等电量参数; 另一类则是温度、湿度、压力、流速等非电量参数。要对这些非电量参数进行检测, 必须运用一定的转换手段, 把非电量转换为电量, 然后再进行检测。将非电量转换为电量的器件, 通常称为传感器。

传感器的输出信号通常是电压、电流、电容和电阻等电量信号。这些信号可以非常方便地进行传输、转换、处理和显示。输出信号的具体形式要根据具体传感器的原理来确定。随着技术的进步, 人类将逐步进入光学时代, 光信息将会成为更加快速、高效地处理与传输的可用信号, 传感器的概念也将随之发展成为能把外界信息转换成为光信号输出的器件。

通常传感器是由敏感元件和转换元件组成。其中, 敏感元件是指传感器中能直接感受响应被测量的部分; 转换元件是指传感器中将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。由于传感器的输出信号一般都很微弱, 因此需要有信号调理与转换电路对其进行放大、运算调制等。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用, 传感器的信号调理与转换电路可能安装在传感器的壳体内或与敏感元件一起集成在同一芯片上。此外信号调理转换电路以及传感器的工作必须有辅助的电源。传感器的构成框图如图 6.2-3 所示。



图 6.2-3 传感器的构成框图

##### (2) 传感器的分类及要求

1) 传感器的种类繁多, 其分类方法也是多种多样的。同一种参数可以用不同的传感器进行测量, 同一传感器也可以测量多种非电量参数。目前流行的分类方法主要有以下几种:

- ① 按基本效应可分为物理型、化学型和生物型等。
- ② 按构成原理可分为结构型和物性型。
- ③ 按能量关系可分为能量转换型(自源型)和能量控制型(外源型)。
- ④ 按作用原理可分为应变式、电容式、电压式和热电

式等。

- ⑤ 按输入量可分为位移、压力、温度、流量和气体等。
- ⑥ 按输出量可分为模拟式和数字式等。

除此之外，还有按构成敏感元件的功能材料分类的，如半导体传感器、陶瓷传感器、光纤传感器和高分子薄膜传感器等；或与某种高新技术相结合而得名的，如集成传感器、智能传感器、机器人传感器和仿生传感器等，不胜枚举。

2) 无论何种传感器，作为测量与自动控制系统的首要环节，都必须具有快速、准确、可靠而又经济地实现信息转换的基本要求。

① 足够的容量。传感器的工作范围或量程足够大，具有一定的过载能力。

② 灵敏度高，精度适当。要求其输出信号与被测输入信号成确定关系（通常为线性），且比值要大。传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求。

③ 响应速度快，工作稳定，可靠性好。

④ 适用性和适应性强。体积小、重量轻，动作能量小，对被测对象的状态影响小；内部噪声小而又不受外界干扰的影响；其输出力求采用通用或标准形式，以便与系统对接。

⑤ 使用经济。成本低，寿命长，且便于使用、维修和校准。

应该说明的是，能完全满足上述性能要求的传感器并不多，传感器的选择应根据应用的目的、使用的环境、被测对象的状况、精度要求和信息处理要求等具体条件做全面综合考虑。

(3) 传感器的性能指标

由于传感器的种类繁多，使用要求千差万别，要列出可以全面衡量传感器质量优劣的统一指标是比较困难的。一般情况下采用若干基本参数和比较重要的环境参数指标作为检验、使用和评价传感器的依据。表 6.2-1 列出一些传感器的常用指标。

表 6.2-1 传感器常用指标

基本参数指标	环境参数指标	可靠性指标	其他指标
(1) 量程指标：量程范围、过载能力等 (2) 灵敏度指标：灵敏度、满量程输出、分辨率、输入输出阻抗等 (3) 精度方面的指标：精度（误差）、重复性、线性、回差、灵敏度误差、阈值、稳定性、漂移、静态总误差等 (4) 动态性能指标：固有频率、阻尼系数、频率范围、频率特性、时间常数、上升时间、响应时间、过冲量、衰减率、稳态误差、临界速度、临界频率等	(1) 温度指标：工作温度范围、温度误差、温度漂移、灵敏度温度系数、热滞后等 (2) 抗冲振指标：各方向冲振容许频率、振幅值、加速度、冲振引起的误差等 (3) 其他环境参数：抗潮湿、抗介质腐蚀、抗电磁场干扰能力	工作寿命、平均无故障时间、保险期、疲劳性能、绝缘电阻、耐压、反抗弧性能等	(1) 使用方面：供电方式（直流、交流、频率、波形等）、电压幅度与稳定性、功耗、各项分布参数等 (2) 结构方面：外形尺寸、质量、外壳、材质、结构特点等 (3) 安装连接方面：安装方式、馈线、电缆等

对一些基本参数指标的含义解释如下：

1) 线性度。线性度又称非线性，是表征传感器输出-输入校准曲线与所选定的拟合直线（作为工作直线）之间的吻合（或偏离）程度的指标。它反映了传感器的输出与输入间

数学关系的线性程度。通常用相对误差来表示线性度或非线性误差。

$$e_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (6.2-1)$$

式中， $\Delta L_{\max}$ 为输出平均值与拟合直线间的最大偏差； $Y_{FS}$ 为满量程输出值。

2) 回差（滞后）。回差是反映传感器在正（输入量增大）反（输入量减少）行程过程中输出-输入曲线的不重合程度的指标，即

$$e_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (6.2-2)$$

式中， $\Delta H_{\max}$ 为正反行程输出的最大差值； $Y_{FS}$ 为满量程输出值。

3) 重复性。重复性是衡量传感器在同一工作条件下，输入量按同一方向作全量程连续多次变动时，所得特征曲线间一致程度的指标，各条特征曲线越靠近，重复性越好，即

$$e_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{2Y_{FS}} \times 100\% \quad (6.2-3)$$

式中， $\Delta R_{\max}$ 为正行程（或反行程）输出之间的最大差值； $Y_{FS}$ 为满量程输出值。

4) 灵敏度。灵敏度是传感器输出量增量与被测输入量增量之比。线性传感器的灵敏度就是拟合直线的斜率，为一常数。非线性传感器的灵敏度是曲线的斜率，是一个变量。

实际使用时由于外电源传感器的输出量与供给传感器的电源电压有关，其灵敏度的表达往往需要包含电源电压的因素。如某位移传感器，当电源电压为 1V 时，每 1mm 位移变化引起输出电压变化 100mV，其灵敏度可表示为 100mV/(mm·V)。

5) 分辨力。分辨力是传感器在规定测量范围内所能检测出的被测输入量的最小变化量。有时用该值相对满量程输入值的百分数表示，则称为分辨率。

6) 阈值。阈值是能使传感器输出端产生可测变化量的最小被测输入量值，即零位附近的分辨力。有的传感器在零位附近有严重的非线性，形成所谓的“死区”，则将死区的大小作为阈值；更多情况下阈值主要取决于传感器的噪声大小，因而有的传感器只给出噪声电平。

7) 稳定性。稳定性又称长期稳定性，指传感器在相当长时间内仍保持其性能的能力。稳定性一般以室温条件下经过一规定的时间间隔后，传感器的输出与起始标定时输出之间的差异来表示，有时也用标定的有效期来表示。

8) 漂移。漂移指在一定时间间隔内，传感器的输出量存在着与被测输入量无关的、不需要的变化。漂移包括零点漂移与灵敏度漂移。

零点漂移或灵敏度漂移又可分为时间漂移（时漂）和温度漂移（温漂）。时漂是指在规定条件下，零点或灵敏度随时间的缓慢变化；温漂为周围温度变化引起的零点或灵敏度的变化。

9) 静态误差（精度）。这是评价传感器静态性能的综合性指标，指传感器在满量程内任意点输出值相对其理论值的可能偏离（逼近）程度。它表示采用该传感器进行静态测量时的所得数值的不确定度。

10) 瞬间响应特性指标。

① 时间常数  $\tau$ 。一阶传感器时间常数  $\tau$  越小，响应速度越快。

② 延迟时间。传感器输出达到稳定值的 50% 所需时间。

③ 上升时间。传感器输出达到稳定值的 90% 所需时间。

④超调量。传感器输出超过稳定值的最大值。

11) 频率响应特性指标。

①频带。传感器增益保持在一定值内的频率范围, 对应上有、下截止频率。

②时间常数  $\tau$ 。时间常数  $\tau$  越小, 频带越宽。

③固有频率。二阶传感器的固有频率表征了其动态特性。

### 2.1.2 常用传感器的原理和性能

#### (1) 电阻式应变传感器

电阻式应变传感器是利用电阻应变片将应变转换为电阻变化的传感器。传感器是由在弹性元件上粘贴电阻敏感元件构成。当被测物理量作用在弹性元件上, 弹性元件的变形引起应变敏感元件的阻值变化, 通过转换电路变成电量输出, 电量变化的大小反映了被测物理量的大小。应变式电阻传感器是目前测量力、力矩、压力、加速度和重量等参数应用最广泛的传感器。

电阻式应变传感器主要由电阻应变片、弹性元件和温度补偿电路组成。电阻应变片的品种繁多, 形式多样。但常用的应变片可分为两类: 金属电阻应变片和半导体电阻应变片。

1) 金属电阻应变片。金属电阻应变片是由敏感栅、基片、覆盖层和引线等部分组成。其结构如图 6.2-4 所示。

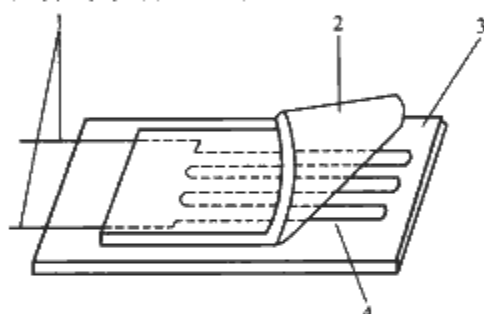


图 6.2-4 金属电阻应变片的结构

1—引线；2—覆盖层；  
3—基片；4—电阻丝敏感栅

敏感栅是应变芯片的核心部分, 它粘贴在绝缘的基片上, 其上再粘贴起保护作用的覆盖层, 两端焊接引出导线。金属电阻应变片的敏感栅有丝式、箔式和薄膜式三种。箔式应变片是利用光刻、腐蚀等工艺制成的一种很薄的金属箔, 其厚度一般在  $0.003 \sim 0.01\text{mm}$ 。其优点是散热条件好, 允许通过的电流较大, 可制成各种所需的形状, 便于批量生产。薄膜式应变片是采用真空蒸发或真空沉淀等方法在薄的绝缘基片上形成  $0.1\mu\text{m}$  以下的金属电阻薄膜的敏感栅, 最后加上保护层。它的优点是应变灵敏度系数大, 允许电流密度大, 工作范围广。

2) 半导体应变片。半导体应变片是用半导体材料制成的, 其工作原理是基于半导体材料的压阻效应。所谓压阻效应是指半导体材料在某一轴向受外力作用时, 其电阻率会发生变化的现象。

半导体应变片的突出优点是灵敏度高, 比金属丝式高  $50 \sim 80$  倍, 尺寸小, 横向效应小, 动态响应好。但它有温度系数大、应变时非线性比较严重等缺点。

应变片的横向效应是指将直的电阻丝绕成敏感栅后, 虽然长度不变, 应变状态相同, 但由于应变片敏感栅的电阻变化较小, 其灵敏系数也比电阻丝的灵敏系数小。如果仍按电阻丝的灵敏系数计算, 就会造成较大的误差。当不能满足测量精度要求时, 应进行必要的修正。为了减少横向效应产生的误差, 现在一般多采用箔式应变片。

由于电阻温度系数和材料膨胀系数的影响, 测量现场环境温度的改变会给测量带来附加误差, 这种误差称为应变片的温度误差。电阻应变片温度误差的补偿方法通常有线路补偿和应变片自补偿两大类。测量应变变化而引起电阻变化的电阻应变片的测量电路一般有直流电桥和交流电桥两种。

#### (2) 热电阻传感器

热电阻传感器是利用敏感元件的电阻随温度变化的特性, 对温度和与温度有关的参量进行测量的装置。这种传感器在工业生产和科学研究工作中已得到广泛应用, 并有相应的定型仪表可供选用, 以实现温度测量的显示和记录。

热电阻传感器可分为金属热电阻式和半导体式两大类, 前者简称热电阻, 后者简称热敏电阻。

1) 热电阻。铂、铜为应用最广的热电阻材料。虽然铁、镍的温度系数和电阻率均比铂、铜要高, 但由于存在着不易提纯和非线性等严重缺点, 用得不多。随着低温和超低温测量技术的发展, 已开始采用铟、锰和碳等作为热电阻材料。常用热电阻材料特性见表 6.2-2。

传感器内热电阻的结构随用途不同而不同, 铜热电阻的结构形式如图 6.2-5 所示; 铂热电阻的结构形式如图 6.2-6 所示。

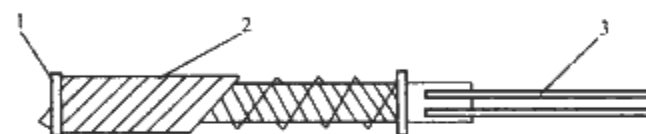


图 6.2-5 铜热电阻结构示意图

1—骨架；2—漆包铜线；3—引线

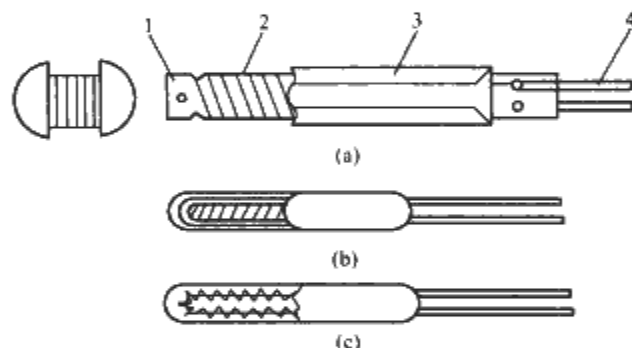


图 6.2-6 铂热电阻结构示意图

(a) 云母弹簧型；(b) 玻璃封装型；(c) 塑料型

1—云母骨架；2—铂丝；3—弹簧支承片；4—引出线

表 6.2-2 常用热电阻材料特性

材料名称	温度系数 $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^{-3}$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )	温度范围 ( $^{\circ}\text{C}$ )	电阻丝直径 (mm)	特性
铂	3.92	0.098 1	$-200 \sim +650$	0.05~0.07	近似线性
铜	4.25	0.017 0	$-50 \sim +150$	0.01~0.05	线性
铁	6.50	0.091 0	$-50 \sim +150$	0.01~0.05	非线性
铱	6.60	0.121 0	$-50 \sim +100$	0.01~0.05	非线性

为满足不同测量精度的要求, 热电阻内部导线(引出线)的形式有两线式、三线式和四线式。其中, 两线式用于不需要较高精度且测温热电阻与检测仪表距离较近的场所; 三线式可以减少热电阻与测量仪表之间连接导线电阻因环境温度变化所引起的测量误差; 四线式不仅可以消除热电阻与测量仪表之间连接导线电阻的影响, 而且可以消除测量线路中寄生电动势引起的测量误差, 多用于标准计量和实验室。

2) 热敏电阻。金属电阻随温度的升高而增加, 但半导体却相反, 它的电阻随温度的升高而急剧下降, 并呈非线性。热敏电阻正是利用半导体的电阻随温度显著变化这一特性制成的热敏元件。它是由某些金属氧化物按不同的配方比



例烧制而成的。在一定的范围内,根据测量热敏电阻阻值的变化,便可以知道被测介质的温度变化。根据使用场合和要求的不同,有多种结构的热敏电阻。图 6.2-7 为柱形、珠状、探头式和片状热敏电阻的结构图。

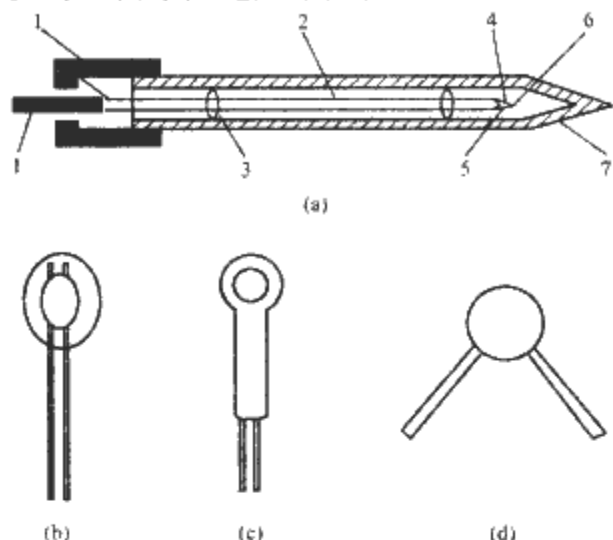


图 6.2-7 热敏电阻结构图

(a) 柱形；(b) 珠状；(c) 探头式；(d) 片状  
1—电极；2—铂丝；3—绝缘体；4—铂丝；  
5—焊点；6—电阻体；7—保护管

根据热敏电阻率随温度变化的特性不同,热敏电阻基本可分为负温度系统 (NTC) 热敏电阻、正温度系统 (PTC) 热敏电阻和临界温度系统 (CTR) 热敏电阻三种类型。

热敏电阻的灵敏度大 (是热电阻的 100 倍以上),但它的输入—输出特性是非线性的,需要进行校正。

### (3) 电容式传感器

电容式传感器是将被测非电量的变化转换为电容量变化的一种传感器。它结构简单,体积小,分辨率高,可非接触式测量,并能在高温、辐射和强烈振动等恶劣条件下工作,广泛应用于压力、差压、液位、振动、位移、加速度和成分含量等多方面测量。随着电容测量技术的迅速发展,电容式传感器在非电量测量和自动检测中得到了广泛的应用。电容式传感器可分为变极距型、变面积型和变介质型三种类型。

1) 变极距型电容式传感器。变极距型电容式传感器是利用被测量通过改变电容器极板间的距离会引起电容值的改变的原理而制成的,其原理如图 6.2-8 所示。

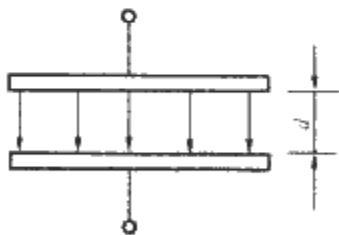


图 6.2-8 变极距型电容式传感器

改变两极间的距离  $d$ ,可以引起电容值的变化,但只有在距离的相对改变很小时,才有近似线性的输出。为了提高电容值改变与极距改变之间的线性关系,提高传感器的灵敏度,防止电容器的击穿或短路,一般在电容器的极板间采用云母、塑料膜等高介电常数的材料作为介质。

一般变极距型传感器的起始电容在  $20 \sim 100 \text{ pF}$  之间,极板间距离在  $25 \sim 200 \mu\text{m}$  的范围内,最大位移应小于间距的  $1/10$ ,所以该传感器在微位移测量中应用最广。

2) 变面积型电容式传感器。变面积型电容式传感器是利用被测量通过移动极板引起两极板有效覆盖面积  $A$  改变引起电容值改变的原理而制成的,其原理如图 6.2-9 所示。图 6.2-9 中,设动极板相对于定极板沿长度方向的平移为

$\Delta x$ ,则电容量的变化与  $\Delta x$  成线性关系。

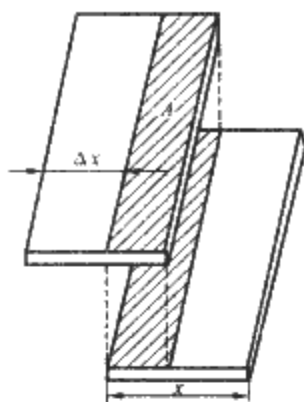


图 6.2-9 变面积型电容式传感器原理图

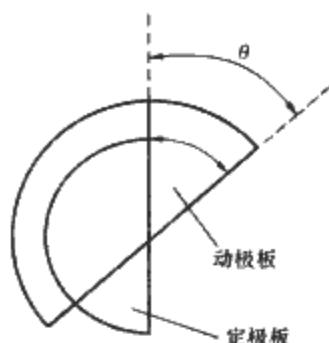


图 6.2-10 电容式角位移传感器原理图

还有一种变面积型电容式传感器是角位移传感器,图 6.2-10 是电容式角位移传感器原理图。图 6.2-10 中,当动极板有一个角位移  $\theta$  时,与定极板间的有效覆盖面积就改变,两极板间的电容量也随之改变,传感器的电容量与  $\theta$  成线性关系。

3) 变介质型电容式传感器。变介质型电容式传感器是利用电容器间介质改变而引起电容值改变的原理制成的。它有多种结构,可以用来测量纸张、绝缘薄膜等的厚度,也可以用来测量粮食、纺织品、木材或煤等非导电固体介质的湿度。图 6.2-11 是一种常用的结构形式。

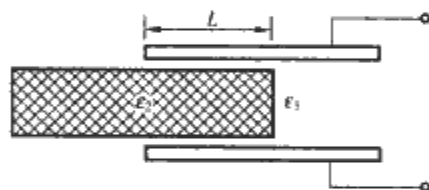


图 6.2-11 变介质型电容式传感器

图 6.2-11 中两平行电极固定不动,介电常数为  $\epsilon_2$  的电介质插入电容器中后,改变了两种介质的极板覆盖面积,引起电容值的改变,电容的变化与电介质  $\epsilon_2$  的移动量  $L$  呈线性关系。

### (4) 压电式传感器

压电式传感器的工作原理是基于某些介质材料的压电效应,是典型的有源传感器。当材料受力作用而变形时,其表面会有电荷产生,从而实现非电量测量。压电式传感器具有体积小、质量轻、工作频带宽等特点,因此在各种动态力、机械冲击与振动的测量,以及声学、医学、力学等方面都得到了非常广泛的应用。在建筑设备自动化系统中,比较常用的压电式传感器有压电式测力传感器和压电式玻璃破碎报警器。

### (5) 磁电式传感器

磁电式传感器是通过磁电作用将被测量转换成电信号的一种传感器。磁电式传感器有干簧传感器和磁电式接近传感器等。

1) 干簧传感器。一般的干簧传感器是由簧片开关 (又称干簧管)、励磁线圈或永久磁铁组成,其结构如图 6.2-12 所示。

在干簧管内有一对导磁簧片,封装在充有惰性气体的玻璃管内,导磁簧片又兼做导电接触簧片,起着电路开关和导磁的双重作用。当给线圈通电或将磁铁靠近簧片开关时,两个簧片的端部形成极性相反的磁极而相互吸引。当吸力大于簧片的弹力时,两片接触,使常开触点闭合。当线圈中的电流减少或磁铁远离时,簧片的吸力小于簧片的弹力,则簧片

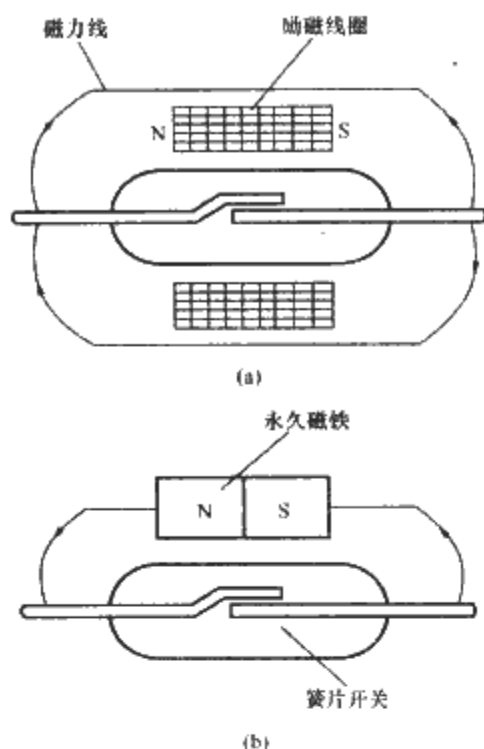


图 6.2-12 干簧管式传感器结构图  
(a) 励磁线圈式；(b) 永磁式

又返回到初始位置，触点断开。

这种干簧传感器只对磁场的强弱有反应，对温度则无反应，它在运动技术测量、自动化及通信技术等方面得到了应用，但无法用于温度的控制。

如果把永磁体、热敏铁氧体与簧片开关组合在一起，就可以做成一种新型的温度传感器。这种传感器目前已在一些电气设备、家用电器上作为温度控制器使用，还可以作为各种电子、电气设备及大功能元件的过热保护器。

2) 磁电式接近传感器。磁电式接近传感器由高频振荡电路、检波电路、放大电路、整形电路及输出电路组成，如图 6.2-13 所示。

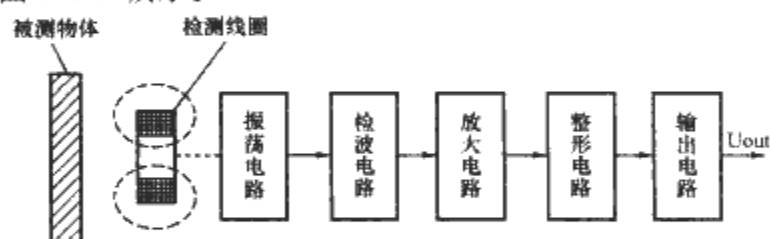


图 6.2-13 磁电式接近传感器工作原理框图

检测用敏感元件为检测线圈，它是振荡电路的一个组成部分，在检测线圈的工作面上存在一个交变磁场，当金属物体接近检测线圈时，金属物体就会产生涡流而吸引振荡能量，使振荡减弱直至停振。振荡与停振这两种状态经检测电路转换成开关信号输出。

磁电式接近传感器的基本结构有圆柱型、基座型、槽型及贯穿型，以适应于不同检测场合的需要。磁电式接近传感器可以检测从传感器侧向水平接近的被测物体，也可以检测从传感器迎面垂直接近的检测体。该类传感器在安全、防盗方面有广泛的应用，如人体接近报警器和电磁感应式接近开关等。

#### (6) 半导体传感器

半导体传感器利用某些材料电特性的变化，实现被测量的直接转换。半导体材料的导电能力的大小是由半导体内载流子数目决定的，利用被测量来改变半导体内载流子数目，就可以构成以半导体材料作为敏感器件的各种传感器，如半导体色敏传感器、半导体湿敏传感器和半导体气敏传感器等。

1) 半导体色敏传感器。半导体色敏传感器是基于半导体的内光电效应，将光信号转变为电信号的光辐射探测器件。半导体色敏传感器相当于两只结深不同的光电二极管的组合，可以用来直接测量从可见光到近红外波段内单色辐射的波长。

2) 半导体湿敏传感器。湿敏传感器是由湿敏器件及转换电路组成的，具有把环境湿度转变为电信号的装置。湿敏器件是指对环境湿度具有响应或转换成相应可测信号的器件。常用的湿敏器件有氯化锂湿敏电阻和  $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 、 $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$  等半导体陶瓷湿敏电阻。

3) 半导体气敏传感器。半导体气敏传感器是利用半导体气敏器件同气体接触，造成半导体性质变化，来检测气体的成分或测量气体浓度的传感器总称。气敏器件工作时需要本身的温度比环境温度高很多，气敏器件都需要进行加热。气敏器件的电阻值根据检测气体浓度的不同，会有所变化。常用来检测气体燃料如煤气（ $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$  等）、天然气（ $\text{CH}_4$  等）、液化石油气（ $\text{C}_3\text{H}_8$ 、 $\text{C}_4\text{H}_{10}$  等）及  $\text{CO}$  等气体泄漏，配上适当电路制成报警器后，可以有效地防止因气体泄漏而引起中毒、燃烧或爆炸。目前在报警器上大都使用  $\text{SnO}_2$  气体传感器，在湿度较大的场合，如厨房等宜使用  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  气体传感器为核心的报警器。

#### (7) 光电式传感器

光电传感器是将光能转换为电能的一种传感器。光电传感器响应快、结构简单、使用方便，有较高的可靠性，在自动检测、自动控制系统中的应用非常广泛。常用的光电式传感器有 CCD 固态图像传感器和火焰探测器等。

1) CCD 固态图像传感器。CCD 固态图像传感器是由感光部分和移位寄存器组成。感光部分是指在半导体衬底上布设的若干光敏单元组成的阵列元件，光敏单元简称像素。固态图像传感器利用光敏单元的光电转换功能将投射到光敏单元上的光学图像转换成电信号“图像”，即将光强的空间分布转换为与光强成比例的、大小不等的电荷包空间分布，然后利用移位寄存器的移位功能将信号“图像”转送，经输出放大器输出。

根据光敏器件排列形式的不同，CCD 固态图像传感器可分为线型和面型两种。

线型 CCD 图像传感器可以直接接受一维光信息，不能直接将二维图像转变为视频信号输出，为了得到整个二维图像的视频信号，就必须用扫描的方法来实现。线型 CCD 图像传感器主要用于测试、传真和光学文字识别技术等方面。

面型 CCD 图像传感器主要用于摄像机及测试技术。

2) 火焰探测器。火焰探测器是利用光敏电阻在不同照度下电阻值的不同，而制成的传感器。

#### (8) 光纤传感器

光纤传感器的种类很多，工作原理也各不相同，但都离不开光的调制和解调两个环节。光调制就是把某一被测信息加载到传输光波上。这种承载了被测量信息的调制光再经光探测系统调解，即可获得所需检测信息。从原则上说，只要能找到一种途径把被测信息叠加到光波上并能调解出来，就可构成一种光纤传感器。

常用的光调制有强度调制、相位调制、频率调制和偏振调制等几种。这样构成的常用传感器有光纤温度传感器、光纤压力传感器、光纤电流传感器、光纤液位传感器和光纤接近式传感器。

#### (9) 超声波传感器

超声波传感器是利用超声波在超声场中的物理特性和各



种效应而制成的装置。在实际应用中有超声波物位传感器和超声波接近传感器等。

#### (10) 红外传感器

红外传感器一般由光学系统、探测器、信号调理电路和显示器件等组成,红外探测器是红外传感器的核心。红外探测器种类很多,常见的有热探测器和光子探测器两大类。

在建筑设备自动化系统中,除这些常用的传感器外,还可能用到微波传感器、激光传感器和智能传感器等。究竟选用什么传感器要根据具体的应用、传感器的工作原理以及传感器的性能指标等综合考虑。

### 2.2 控制调节装置

根据建筑设备自动化系统控制方式和控制结构的不同,控制调节方式会有所差别,现场控制调节装置也各不相同,一般来说,主要有直接数据控制器(DDC)、智能调节器和可编程序控制器(PLC)。

#### 2.2.1 控制调节装置的调节方式

建筑设备自动化系统作为一种计算机控制系统,其现场控制调节装置的调节方式主要采用比例积分微分式(简称PID)调节方式。

##### (1) 比例式调节

比例式调节的作用是按比例反应系统的偏差。系统一旦出现了偏差,比例调节立即产生调节作用以减少偏差。比例越大,可以加快调节,减少误差,但是过大的比例,容易使系统的稳定性下降,甚至造成系统的不稳定。

##### (2) 积分式调节

积分调节作用是使系统消除稳态误差,提高无差度。如果有误差,积分调节就进行,直至无误差,积分调节停止,积分调节输出一常值。积分作用的强弱取决于积分时间常数 $T_i$ , $T_i$ 越小,积分作用就越强。反之 $T_i$ 越大则积分作用越弱,加入积分调节可使系统稳定性下降,动态响应变慢。

##### (3) 微分式调节

微分调节作用是反映系统偏差信号的变化率,具有预见性,能预见偏差变化的趋势,能产生超前的控制作用,在偏差还没有形成之前,已被微分调节作用消除。因此,可以改善系统的动态性能。在微分时间选择合适情况下,可以减少调节时间。微分作用对噪声干扰有放大作用,因此过强的微分调节,对系统抗干扰不利。此外,微分反映的是变化率,而当输入没有变化时,微分作用输出为零。

#### 2.2.2 直接数据控制器(DDC)

直接数据控制器(DDC)是由控制计算机取代常规的模拟调节仪表而直接对生产过程进行控制的现场设备。DDC在对执行设备的控制过程中,可以将输出的数字信号通过控制机的过程输入/输出通道中的数/模(D/A)转换器转换成模拟信号;输入的模拟信号也要经控制机的过程输入/输出通道的模/数(A/D)转换器转换成数字信号进入DDC。

DDC控制系统中常使用小型计算机或微型机的分时系统来实现多个点的控制功能。实际上是属于用控制机离散采样,实现离散多点控制。这种DDC计算机控制系统已成为当前计算机控制系统中主要控制形式之一。

DDC控制的优点是灵活性大,集中可靠性高和价格便宜。能用数字运算形式对若干个回路,甚至数十个回路的生产过程,进行比例积分微分(PID)控制,使工业受控对象的状态保持在给定值上,偏差小且稳定。而且只要改变控制算法和应用程序便可实现较复杂的控制,如前馈控制和最佳控制等。一般情况下,DDC级控制常作为更复杂的高级控

制的执行级。

#### (1) DDC的选用

主流BA系统供货商都能提供大中小不同处理能力的DDC,冷冻机房、热力站监控点等密集场合应优先采用大型控制器,以减少故障率和控制器间的通信。这种控制器的典型特征是具有强大的处理器。对空气处理机、新风机、通风机一般采用中型或小型的控制器即可。

#### (2) 控制器的布置

控制器一般应靠近受控设备,宜与相应配电箱并列布置以利于布线。同一个机房内的空调通风设备可以合用一个控制器,但应考虑控制器的运算能力和控制点是否足够。有的系统集成商将不同楼层的若干个新风机合用一个控制器,这种做法虽然节约了一定的成本,但对日后的管理和调试是不利的,不值得推荐。控制器的电源宜集中供应,有条件可以从UPS总电源引出;从受控设备现场引用电源的做法不值得推荐。

#### 2.2.3 智能调节器

智能调节器是一种数字化的过程控制仪表,其外表类似于一般的盘装仪表,而其内部却是由微处理器、RAM、ROM、模拟量与数字量I/O通道以及独立电源等基本组成部分所构成的微型计算机系统。

智能调节器与DDC相比,除具有的容量大,速度快,有联网能力,可以增加控制点数量外,其他功能与DDC大同小异。一般有单一回路、2回路、4回路或8回路的调节器,控制方式除PID之外还可以组成串级控制、前馈控制和按预定曲线控制等。智能调节器一般带有串行异步通信接口(RS-232或RS-422等),可与上位机连成主从式通信网,接受上位机下传的控制参数,并上报各种过程参数。

为便于仪表操作人员使用,人机交互界面(面板)的设计及操作方法与常规的模拟调节器基本相同。多回路的数据调节器,一般采用数字显示方式,面板上设有操作按钮,基本操作与仪表操作相似,不需要用户编制程序。控制方式较为复杂的调节器,如对输入信号进行各种补偿运算(开方、非线性校正等),有前馈、串接等控制回路时,需要专门设计的编程器用专用助记符编写控制程序。编程器与调节器用电缆连接在一起,即可试运行编制好的程序。程序修改正确后固化到EPROM中,即可正式使用。

#### 2.2.4 可编程序控制器(PLC)

可编程序逻辑控制器是一种以微处理机为核心的过程控制装置。与智能调节器最大的不同点是,它主要配备的是开关量输入、输出通道。小型PLC的I/O点数为16~256点,中型为512~1024点,大型为2048~8192点。PLC主要用于按时间顺序控制或逻辑顺序控制的生产过程,以取代复杂的继电器控制装置,主要应用在电梯控制、自动加工机床的程序控制等场合。

PLC所采用的编程语言是形象化的梯形图语言,它基本是由继电控制电路符号转化而构成。编程过程与绘制逻辑控制电路图的过程极为相似,在专用编程器上输入全部梯形图后,编辑器即自动将其编译成微处理器可执行的内部程序,经试运行验证程序正确后,固化到EPROM中,安装到PLC上就可执行。

某些新型的PLC也提供了模拟量控制模块,其输入输出的模拟量标准与数字调节器相同,同时也提供PID等控制算法。PLC所特有的高可靠性和不断增强的功能,使它在集散式控制系统的现场控制中得到广泛的应用。

PLC一般均设有RS-422标准的异步通信接口,可与上

位机接成主从式总线网络。在集散式控制系统中,可以通过现场总线将它连接到现场控制站上,也可通过网关将数台PLC直接连接到集散系统的高速数据网络上,作为一个独立的顺序控制站与操作站交换信息。

### 2.3 执行调节装置

在建筑设备自动化系统中,其执行机构是调节系统的重要组成部分。按使用的能源分类,执行调节装置有气动、电动和液动等类型,控制或调节的对象多为装于水管的阀门和装于风管的风门。驱动和控制阀门的装置有电磁阀、电动调节阀和液压调节阀;驱动和控制风管风阀的装置是风阀执行器。

#### 2.3.1 电磁阀

电磁阀是利用线圈通电后,产生电磁吸电提升活动铁心,带动阀塞运动控制空调或制冷中气体或液体流量的通断。电磁阀有直动式和先导式两种,直动式电磁阀结构中,电磁阀的活动铁心本身就是阀塞,通过电磁吸力开阀,失电后,由恢复弹簧闭阀。先导式结构由导阀和主阀组成,通过导阀的先导作用促使主阀开闭。线圈通电后,电磁力吸引活铁心上升,使排气孔开启,由于排出孔远大于平衡孔,导致主阀上腔中压力降低,但主阀下方压力仍与进口侧压力相等,则主阀因差压力上升,阀呈开启状态。断电后,活动铁心下落,将出孔封闭,主阀上腔因从平衡孔冲入介质压力上升,当约等于进口压力时,主阀因本身弹簧力及复位弹簧作用力,使阀成关闭状态。

电磁阀的最大特点是:传动部分无转动机械部件,可靠性高,可控范围大,在流量很小的时候,其仍具有很好的控制特性,采用压力平衡式后,由于定位时间短,可用于响应速度要求高的系统,它能手动调节,便于维修和调试。

#### 2.3.2 电动阀

电动调节阀是以电动机为动力元件,将调节器输出信号转换为阀门的开度,它是一种连续动作的执行器。

##### (1) 电动调节阀的工作原理

电动执行机构输出方式有直行程、角行程和多转式三种类型,分别同直线移动的调节阀、旋转的蝶阀、多转的感应调节器等配合工作。在结构上电动执行机构除可与调节阀组装成整体的执行器外,常单独分装以适应各方面需要,使用比较灵活。

电动执行机构一般采用随动系统方案。电动机通过减速器变为转角,控制阀杆行程来改变阀门的开度,阀行程直接能反映阀门的开度。因此,将阀门行程再经位置信号转换器反馈到伺服放大器的输入端与给定输入信号相比较确定对电动机的控制。在实际运用中,为了使用系统简单,常使用两位式放大器和交流感应电动机。因为电机在运行中,多处于频繁启动和停止过程中,为使电机不致过热,常使用专门的异步电动机,用增大转子电阻的方法,以减小启动电流,增加启动转矩。

##### (2) 电动调节阀的选择

如何合理选择电动调节阀的型号、规格对于建筑设备自动化系统来讲是至关重要的,它决定着系统能否正常工作和确保系统的各种设定参数控制在设计范围内。

1) 调节阀流量特性的选择。调节阀的流量特性直接影响自动控制质量和稳定性,常用调节阀的特性有直线、等百分比和快开等,在楼宇自控系统,调节阀流量特性的选择,主要的指合理选择直线和等百分比的流量特性。

调节阀流量特性的选择方法,一般有数字分析和经验法

两种。在建筑设备自动化系统中的空调系统主要是适应性空调系统,故在工程中多采用数字分析法,通常选用百分比流量特性居多。

从给水工艺角度来看,阀前后压降越小越好,这样可以减少阻力损失,减小给水泵负荷,而从控制工艺角度来看,阀前后压降越大可控性越好。两者权衡下,通常以阀前后的压差约为4m水柱来确定阀门的流量系数,选用相应口径的调节阀。

2) 调节阀执行推力的选择。标准组配的电动调节阀推力(关阀压力)是一定的。为得到理想的调节和关闭特性,必须要求执行机构的输出轴推力能克服阀的前后压差产生的不平衡力和提供阀全闭时足够的压紧力。根据实际工程的经验,电动调节阀执行机构的推力(或称关闭压力)选择在0.8~1MPa之间,同时考虑到暖通设计数值与实际工作状态数值的差别,以及流体对阀芯和阀体的冲蚀,其实际工作状态的压差数值不应超过0.3MPa,如压差较高时,应采取相应的减压或平衡压力的工艺措施。

3) 调节阀使用条件的确定。为了准确地选择和计算电动调节阀的参数,通常由建筑设计院负责空调系统工种的项目工程师提供空调机及水泵系统流量和各类调节阀的使用条件。

4) 电动调节阀口径确定。目前电动调节阀的口径的选择涉及空调水系统的工艺参数和选用电动调节阀的类型和调节阀产品的技术性能。一般可以请空调工艺设计单位提供水系统的工艺参数,由建筑设备自动化系统的供应商确定电动调节阀的口径或者提供电动调节阀的技术参数,由空调设计单位确定电动调节阀的口径。

电动调节阀的口径一般比管路管径小一个档次,如建筑设备自动化系统的供应商确定电动调节阀的口径小于其管径两个档次,应由工艺设计单位确认。

由于目前建筑设备自动化系统的供应商提供的电动调节阀均是从国外进口,电动阀的口径应为公制,如果是英制,则与国内水管管径公制不相匹配,需在现场变为同一制式才能连接。

#### 2.3.3 电动风阀

电动风阀实际上是把电动执行器、连杆机构及风阀阀体组装在一起的一个风路附件,用于建筑设备自动化系统对风量的控制(如开启、关闭和调节等)。在采用电动风阀时,除考虑其接口尺寸外,还需要考虑以下内容:

1) 风阀用途。在空调风系统中,电动风阀有以下两种主要用途:

① 开关用风阀。此类用途的风阀是双位式风阀,一般用于只起开、闭控制作用而不起调节作用的新风管路上(通常与风机连锁开起及关闭)。因此,对它的调节性能可不用考虑。为了降低造价,可以采用简单的制作方式(如叶片平行开、关等)。

② 调节用风阀。此类用途的风阀除具有关闭功能外,更主要的是要求其调节性能较好。由于阀门是应用于风道之中,风阀与风道的阻力比将对风阀的调节特性产生较大的影响。为保证风阀的调节特性,通常调节式风阀叶片采用对开方式来制作。

2) 风阀阻力。开关式风阀要求风阻力尽可能小。调节式风阀的阻力与其调节性能有关,应根据调节性能要求决定。

3) 电动机转矩。电动风阀在使用时,有可能是在风机静压差(即零流量压头)的情况下打开或关闭,这时阀两端

的风压是最高的,因而对电动机的工作转矩有一定的要求。另外,风阀制作的好坏、轴承摩擦阻力的大小也对电动机的转矩提出了一定的需求。因此,一般来说,采用电动风阀时,风阀体、执行机构及电动机应由同一厂家生产或配套供应,才能保证其质量的可靠性,一旦发现问题,也比较容易分清责任、集中解决。

### 3 空调系统自动控制

装备空调系统对生活、工作环境中的空气温度、湿度、洁净度和风速进行控制调节,为工作在一定场所的用户、人员创造一个具有良好热舒适性及环境参量较佳的环境。空调系统的任务就是进行空气调节,而空调末端设备是完成空气调节的装置。对空调系统进行自动控制使整个空调系统正常运行并保证环境参量满足要求。由于空调系统长时间运行,耗能很高,在楼宇设备运行电耗中占有很大的比重,必须对空调系统进行节能控制,对其运行进行优化管理。

空调系统控制主要包含:环境温度控制、空气湿度控制以及空气质量调节等内容。最主要是进行环境温度控制,其次还有空气湿度和空气气流速度调节、空气质量调节、空气压力调节等。制冷时,以距地面1.2m处的空气水平风速为0.3m/s较为适宜,制热时,以距地面1.5m处的水平风速为0.5m/s为宜。在静止的空气中或恒定不变的风速场中,人体的环境感受舒适度降低。空调系统中的新风量调节可控制空气中的含氧量,通过过滤方式滤除空气中的悬浮物,保证空调环境的清洁度。

当室内外的空气参数(温度、湿度)发生变化时,要求空调系统负责调节的空间内的空气参数维持不变或变化不出给定的变化范围。空气调节的过程中,采取对空气加热或冷却的方式来调节温度,通过加湿或除湿来调节湿度,通过过滤和调节新风量来控制空气质量。

空气调节系统设备主要有冷/热源、新风机组、空气处理机组、风机盘管、变风量系统、送风/排风装置等,这些设备在空气调节的过程中,各自发挥着不同的作用。

#### 3.1 制冷站自动控制

空调系统中的冷源一般由冷冻系统提供,整个冷源系统由多台制冷机、冷冻水和冷却水循环泵、冷却塔、补水箱和膨胀水箱等设备组成。

##### 3.1.1 制冷系统自动监测与控制

将制冷机、冷却水、冷却水循环泵、补水箱、集水器、分水器等一些辅助设备安装在专用设备间——制冷站中。制冷站中的冷水机组生成的冷冻水通过分水器向各空调区的新风机组、空调机组或风机盘管(空调末端设备)提供冷冻水,冷冻水与这些末端设备进行热交换,升温后又返回制冷站的集水器,再经过冷冻水循环泵加压进入冷水机组进行制冷,整个过程循环进行。冷冻水系统由冷冻水机组、冷冻水循环泵、分水器、集水器、空调末端及一些辅助设备组成。在制冷过程中,通过对冷冻水供回水温度、流量、压力、压差、冷水机组运行台数和差压旁路调节的控制,实现对冷冻水系统的控制来满足空调末端设备对冷源的需求,同时实现节能目的。

制冷系统的运行参数。楼宇自控系统对制冷系统的一些主要运行参数进行监控,这些参数有:

1) 冷水机组的进水口和出水口的冷冻水温度。

2) 集水器回水温度与分水器供水温度(一般与冷水机组的进水口和出水口温度相同)。这个温度反映末端冷水负

荷的变化情况。

3) 冷冻水供/回水流量检测。通过对冷冻水(供/回水)流量及供/回水温度检测,可确定空调系统的冷负荷量,并以此数据计算能耗和系统效率。

4) 分水器 and 集水器压力差值(压差)测量。使用压力传感器测量分水器进水口和集水器出水口的压力,或直接使用压差传感器测量这两个水口的压力差。以供回水压差数据作为控制调节压差旁通阀的开度的依据。

5) 对冷水机组运行状态和故障进行监测。

6) 对冷冻水循环泵运行状态进行监测。

#### 3.1.2 制冷站水系统运行控制

##### (1) 冷水机组的连锁控制

为使冷水机组能正常运行和系统安全,通过编制程序,严格按照各设备起停顺序的工艺流程要求运行。冷水机组的启动、停止与辅助设备的起停控制须满足工艺流程要求的逻辑连锁关系。

1) 冷水机组的启动流程为:冷却塔风机启动→冷却水泵启动→冷冻水泵启动→冷水机组启动。

2) 冷水机组的停机流程为:冷水机组停机→冷冻水泵停机→冷却水泵停机→冷却塔风机停机。

冷水机组的启动与停机流程正好相反。冷水机组具有自锁保护功能。冷水机组通过水流开关监测冷却水和冷冻水回路的水流状态,如果正常,则解除自锁,允许冷水机组正常起停。

##### (2) 备用切换与均衡运行控制

制冷站水系统中的若干设备采用互为备用方式运行,如果正在工作的设备出现故障,首先将故障设备切离,再将备用设备接入运行。

为使设备和系统处于高效率的工作状态,并有较长的使用寿命,就要使设备做到均衡运行,即互为备用的设备实际运行累积时间要保持基本均衡,每次启动系统时,应先启动累积运行小时数少的设备,并能为均衡运行进行自动切换,这就要求控制系统对互为备用的设备有累计运行时间统计、记录和存储的功能,并能进行均衡运行的自动调节。

(3) 冷水机组恒流量与空调末端设备变流量运行的差压旁路调节控制

冷水机组设有自动保护装置,当流量过小时,自动停止运行,在冷水机组不适宜采用变流量方式,但对于二管制的空调系统,通过调节空调末端的两通调节阀,使系统末端负荷侧的水流量产生变化。在冷冻水供水、回水总管之间设置旁路,在末端流量发生变化时,通过调节旁通流量来抵消末端流量的改变对冷水机组侧冷冻水流量的影响。旁路主要由旁路电动两通阀及压差控制器组成。通过测量冷冻水供回水间的压力差来控制冷冻水供水、回水之间旁路电动二通阀的开度,使冷冻水供/回水之间的压力差保持常量,来达到冷水机组侧的恒流量方式,这种方式叫差压旁路控制。差压旁路调节是二管制空调水系统必须配备的环节。

##### (4) 两级冷冻水泵协调控制

如果冷冻水回路是采用一级循环泵的系统,一般使用差压旁路调节控制方案来实现冷冻水回路冷水机组一侧的恒流量与空调末端一侧的变流量控制。当空调系统负荷很大、空调末端设备数量较多,且设备分布位置分散,冷冻水管路长、管路阻力大时,冷冻水回路就必须采用二级泵才能满足空调末端对冷冻水的压力要求。

##### (5) 冷水机组的群控节能

制冷系统由多台冷水机组及辅助设备组成,在设计制冷

系统时,一般按最大负荷情况设计冷水机组的总冷量和冷水机组台数,但实际情况运行一般都较最大负荷情况有较大偏差,对应于不同以及变化的负荷,通过冷水机组的群控实现节能运行。

1) 冷冻水回水温度控制法。冷水机组输出冷冻水温度一般为 $7^{\circ}\text{C}$ ,冷冻水在空调末端负载进行能量交换后,水温上升。回水温度基本反映了系统冷负荷的大小,根据回水温度控制调节冷水机组和冷冻水泵运行台数,实现节能运行。这种方法就是冷冻水回水温度控制法。

2) 冷量控制法。使用一定的计量手段根据回水温度与流量求出空调系统的实际冷负荷,再选择匹配的制冷机台数和冷冻水泵运行台数投入运行实现冷水机组的群控和节能。在根据实际的冷负荷对投入运行的冷水机组与冷冻水循环水泵的台数进行调节时还要同时兼顾设备的均衡运行。

#### (6) 膨胀水箱与水箱状态监控

膨胀水箱作为制冷系统中的辅助设备发挥着这样的作用:当冷冻水管路内的水随温度改变相应的体积也产生改变,膨胀水箱与冷冻水管路直接相连,当水体膨胀体积增加时,一部分水排入膨胀水箱;当对体积减小时,膨胀水箱中的水可对管路中的水进行补充。

补水箱用来存放经过除盐、除氧处理的冷冻用水,当冷冻水管路中的冷冻水需要补充时,补水泵将补水箱中的存储水泵入管路。补水箱中设置液位开关对其运行控制,当水位低于下限水位时进行补充,达到上限水位时停止补充防止渗流。

#### (7) 冷却塔的节能运行控制

冷水机组的冷却用水由于带走了冷凝器的热量温度升高至设计温度 $37^{\circ}\text{C}$ (从冷水机组出口),送出的高温回水( $37^{\circ}\text{C}$ )在送至冷却塔上部经过喷淋降温冷却,又重新循环送至冷水机组,这个过程循环往复进行。

来自冷却塔送的冷却水,设计温度为 $32^{\circ}\text{C}$ ,经冷却泵加压送入冷水机组,与冷凝器进行热交换。

为保证冷却水进水和冷却回水具有设计温度,就要通过装置对此进行控制。冷却水进水温度的高低基本反映了冷却塔的冷却效果,用冷却进水温度来控制冷却塔风机(风机工作数控制或变速控制)以及控制冷却水泵的运行台数,使冷却塔节能运行。

利用冷却水进水温度控制冷却塔风机运行台数,这一控制过程和冷水机组的控制过程彼此独立。如果室外温度较低,从冷却塔流往冷水机组的冷却水经过管道自然冷却,即可满足水温要求,此时就无需开启冷却塔风机,也能达到节能效果。

### 3.1.3 制冷系统监测

#### (1) 设备运行状态监控

1) 冷水机组运行状态。运行状态信号取自于冷水机组控制器(柜)对应运行状态输出触点(或主接触器辅助触点)。

2) 冷冻水泵起停状态。该运行状态信号取自冷冻水循环泵配电箱接触器辅助触点。

3) 冷却水泵起停状态。此信号从冷却水循环泵配电箱接触器辅助触点取出。

4) 冷却塔风机起停状态监控。监控信号从冷却塔风机起停状态监控配电箱接触器辅助触点取出。

5) 水流开关状态监测。取自水流开关状态输出点。

#### (2) 参数监控点和故障监控

这些参数可以是水位、流量、温度和压力等。

1) 膨胀水箱高低水位监测。信号取自补水箱高低水位监测传感器输出,如使用液位开关、水位高限、低限、溢流位设置等。

2) 冷却塔高低水位监测。信号取自冷却塔高低水位监测输出点,如使用液位开关、设置水位高/低限。

3) 冷冻水供/回水温度检测。信号取自安装在冷冻水管路上的供/回水温度传感器输出。

4) 冷冻水流量检测。信号从安装在冷冻水管路上的流量传感器输出,如使用电磁流量计。

5) 冷冻水供/回水压力(或压差)检测。信号取自安装在冷冻水管路上供/回水压力传感器或压差传感器输出,如采用水管或液压传感器,并安装在集水器入口,分水器出口、冷冻水管道附近。

6) 冷却水供/回水温度检测。检测信号从安装在冷冻水管路上的供/回水温度传感器输出。

7) 冷水机组起停控制。从 DDC 数字输出口,到冷水机组控制器起停远程控制输入点。

8) 冷冻水泵起停控制。从 DDC 的数字输出口输出到冷冻水配电箱接触器的控制回路。

9) 冷却水泵的起停控制。可从 DDC 的数字输出口控制冷却水泵配电箱接触器控制电路。

10) 冷却水塔水风机起停控制。由 DDC 的数字输出口接入冷却水塔风机配电箱接触器控制回路。

11) 冷水机组冷冻水进水电动蝶阀。从 DDC 的数字输出口输出到冷水机组冷冻水入口电动蝶阀开关控制输入回路。

12) 冷水机组冷冻水出水电动蝶阀。从 DDC 的数字输出口输出到冷水机组冷却水入口电动蝶阀开关控制输入回路。

13) 冷却塔进水电动蝶阀。从 DDC 的数字输出口输出到冷却塔冷却水入口电动蝶阀开关控制回路。

14) 压差旁路两通阀调节控制。从 DDC 的模拟输出口输出到压差旁路两通阀驱动器的控制回路。

在系统设计中还要包含手动和自动控制的切换线路设计,设备故障维修/更换等退出自动控制状态的线路设计。

### 3.1.4 制冷系统设备控制

通过对制冷系统中各相关设备运行状态参数检测传感器对相关物理量的检测,楼宇自控系统通过中央监控管理系统和控制现场设备的 DDC 对制冷系统的运行进行全面的监控和管理。

在楼宇自控系统对制冷系统进行监控管理的软硬件系统设计、设置时,要解决好以下几个问题:冷水机组与辅助设备的连锁控制;设备故障报警/手动/自动切换控制,均衡策略运行控制;冷水机组侧的恒流量与空调末端设备变流量运行的控制策略、规律与具体实现方式。

#### (1) 冷水机组与辅助设备的自锁、互锁控制

制冷系统的起停顺序要有严格的对应关系。

起动顺序:冷却塔风机→冷却水泵→冷冻水泵→冷水机组。

停机顺序:冷水机组→冷冻水泵→冷却水泵→冷却塔风机。

这种逻辑顺序关系借助于控制软件,并依靠电器开关触点自锁、互锁来实现。

#### (2) 设备故障报警

如果设备运行或工作状态出现故障后,监控系统给出报警,并自动停止相关设备的运行,同时对报警信号进行处理



与记录。

### (3) 备用设备的切换投入

在系统中的设备出现故障,除了报警外,控制系统将故障设备切离,同时将备用设备投入运行,使整个制冷系统正常运行。

### (4) 均衡运行的实现

为实现制冷系统中的均衡运行,可通过起停设备的给定策略实施启动来实现。

#### 1) 选择启动设备的策略有:

- ① 累计运行时间最少的设备优先启动。
- ② 当前停止运行时间最长的设备优先启动。
- ③ 轮流排队启动。

#### 2) 选择停止运行设备的监控策略有:

- ① 累计运行时间最长的设备优先停止运行。
- ② 当前运行时间最长的设备优先停止运行。
- ③ 轮流排队停止运行。

在工程实际当中,可采用单一策略,也可采用多种策略的组合。

### (5) 制冷系统的节能运行

现代建筑中的空调系统能耗在建筑能耗中占有相当高的比例,高达50%~60%,其中冷热源设备和水系统的能耗又在空调系统总能耗中占有80%~90%的比重,因此对于冷热源设备及水系统的节能运行控制,意义重大。制冷系统中的冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔风机都是主要耗能设备,制冷系统的运行节能控制的内容主要是以上这些设备的单项节能及协调运行中的系统节能。

制冷系统的节能运行控制主要采用以下一些措施:

1) 根据具体的热负荷变化规律制定科学合理的设备运行时间表。由于建筑场内企业的工作时间、不同的季节时间段、气候的变化等多种因素,制冷系统的热负荷呈现规律性的变化,根据这些变化规律制定制冷设备运行时间表,能起到很好的节能效果。

2) 制冷机组的节能群控。在有多台机组的制冷系统中,对机组进行策略合理的群控,使空调末端设备通过的冷冻水流量与实际的热负荷进行动态匹配,实现节能运行。

对于单台冷水机组,可以使用调节主机运行状态,调节冷水机组冷冻水入口温度来调节冷冻水泵、冷却水泵的能耗。

如上所述,根据空调系统实际的冷负荷来调制冷机组运行的台数,同时调整制冷机冷冻水的温度,使制冷量与实际冷负荷匹配,实现空调系统的节能运行。

3) 冷冻水循环泵的节能控制运行。如果空调冷冻水系统采用一级冷冻水泵和差压旁路调节控制构成冷冻水回路结构时,冷冻水泵为冷冻水提供压力来克服冷冻水传输管路中的阻力,并保证末端设备侧获得足够的压力;通过调节差压旁路的流量,保证末端及空调设备的正常工作。可根据实际空调系统的冷负荷,在满足工作压力、冷冻水流量的情况下调节冷冻水泵运行台数和差压旁路的设定值,使之节能运行。

在冷负荷大的空调系统中,末端空调设备分布范围广,水系统管路长,此时冷冻水系统采用二级冷冻水泵来为系统提供正常工作所需的冷冻水压力。对于这种系统的节能运行,是通过调节二级冷冻水压力和冷冻水泵运行台数来控制。

4) 冷却塔和冷却水泵的经济运行控制。冷水机组的冷却水进口处,由冷却塔循环输入的冷却水温度须满足特定要

求。根据冷冻机对冷却水温的要求,通过对冷却塔运行台数的控制,来实现冷却塔出水温度与设定值的匹配。还可以使用调节电机的转速来实现这种控制。当冷却塔出水温度高于设定值,可增开一台冷却塔或将冷却塔中风扇的驱动电机转速提高;如果冷却塔出水温度低于设定值,则将一台冷却塔从运行中切离出来,同时对运行的冷却塔运行参数作适当调节。

在对冷却塔台数的调节控制中,一个重要的因素是室外环境温度。总的来讲,合理地调节投入运行的冷却塔台数、调节冷却塔中风机和冷却水泵的运行台数(或通过调速控制)并辅以转速调节,可较好的实现冷却塔、冷却水泵的节能运行。

### 3.1.5 制冷站经济运行中的协调控制

制冷机组有较复杂的结构,一般配置有功能很强的监控系统。实现对机组的起停控制、运行参数监测、故障报警、按照一定的控制策略进行经济运行控制,制冷机组还配置有较完善的安全保护设置。

新的制冷机组的控制监测系统一般设置了标准的通信接口,并且支持BACnet(Building Automation and Control Network,楼宇自控网标准通信协议)协议和LonWorks通信协议。从发展趋势上讲,通过统一的通信协议,使制冷机组通过标准通信接口与楼宇自控系统实现有效的数据通信并进而实现无缝互联,楼宇自控系统就可以对制冷机组进行高水平的运行状态控制、运行参数控制、经济运行控制及安全防护。BACnet、LonWorks网络都是开放性很好的网络系统,而且二者与Internet、以太网通过网关或中间技术都能实现良好的互联。

### 3.1.6 制冷站控制实例

图6.2-14为某冷冻站控制原理图。

该冷冻站由3台冷水机组、4台冷却水循环泵、4台冷冻水循环泵、3台冷却塔以及分水器、集水器组成。控制系统的现场监测和控制设备有DDC、冷冻水供/回水温度传感器、冷冻水供/回水压力传感器、冷冻水供水流量计、水流开关、冷却水供/回水温度传感器、冷水机组、冷冻水电动蝶阀、冷却水电动蝶阀、冷却塔冷却水电动蝶阀,压差旁通阀等组成。

系统的监控原理如下:

冷水机组的控制是对每台冷水机组的运行状态、故障状态、手/自动状态反馈信号进行监测,由于冷水机组本身有较完善的控制和保护功能,DDC只负责对冷水机组的起停控制。系统出现故障时可自动报警。

对冷冻水、冷却水供/回水温度进行监测,保证其在正常范围。

监测冷冻水流量,再根据供回水温差计算空调系统的冷负荷。监测冷冻水供/回水压力,根据压差调节压差旁通阀门开度。

监测冷冻水、冷却水循环泵、冷却塔风机的运行状态、故障状态、手/自动状态反馈信号,并控制这些设备的起停并能对故障自动报警。

系统中的水流开关用来监测水泵控制的反馈信号,当水泵已经启动,水流开关给出相应信号。

系统中的DDC负责冷冻站的群控和运行管理,通过DDC中的控制程序设定来控制冷水系统的启动停机顺序,对冷却水蝶阀、冷却塔进水蝶阀、冷却塔进水风机、冷却水循环泵、压差控制环路、冷水机组等进行控制。

通过计算可得出空调系统的实际冷负荷,根据实际冷负

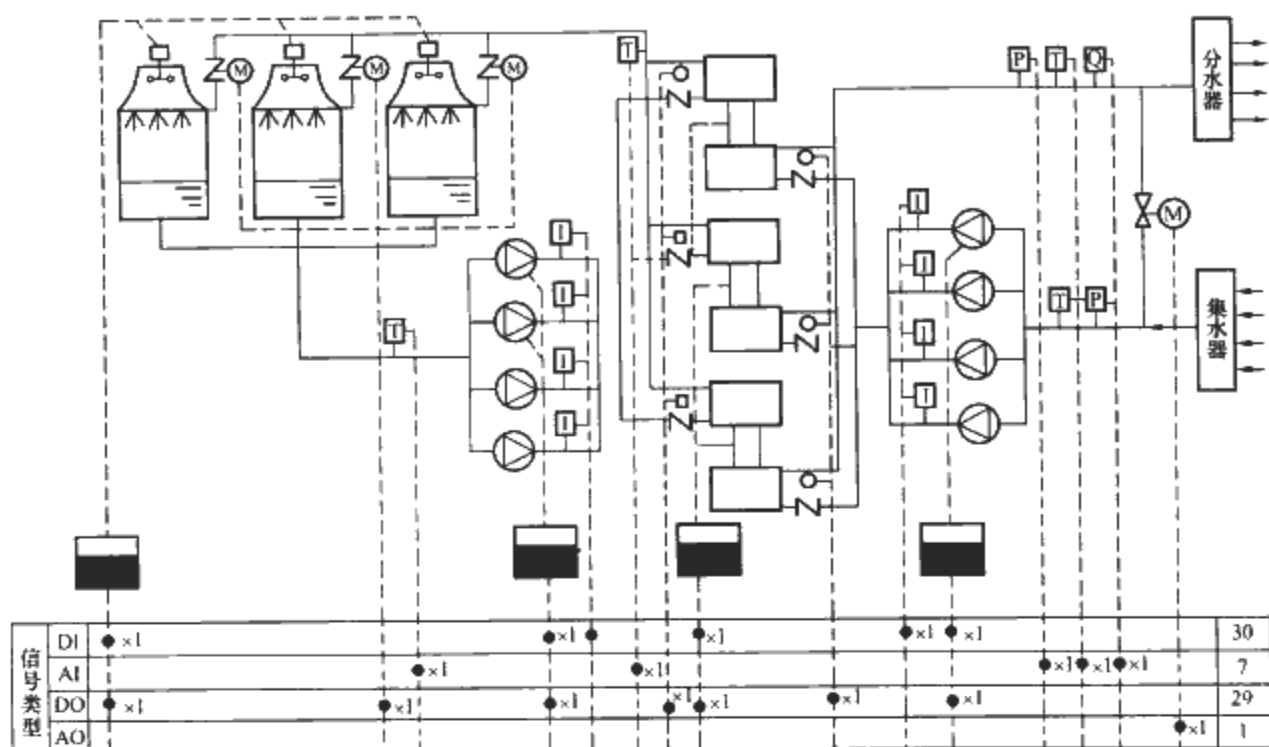


图 6.2-14 某冷冻站控制原理图

荷值确定冷水机组的起停台数，实现最佳的节能运行。当冷冻水供/回水压差处于正常的设定值范围时，压差旁通阀关闭；当空调末端负荷减小时，供回水压差增大，旁通阀开度加大，一部分冷冻水直接流回回水管，当其流量达到一台冷水机的制冷量时，则自动关闭一台冷水机，并停止相应的循环水泵和冷却塔。

现场 DDC 还负责对系统内设备进行均衡运行控制。根据各冷水机、循环水泵和冷却塔的当前运行时间累计值，优先启动当前运行时间少的机组和设备。

### 3.2 热源系统控制

空调系统的热源主要有两个来源，即通过城市热网或使用自备锅炉生产热源。下面仅以电加热的热水锅炉或空调热源锅炉为例。

#### (1) 电热锅炉的运行及控制

电锅炉机组运行状态及参量监控的主要内容如下：

- 1) 电锅炉机组运行状态监控，信号取自电锅炉控制器（柜）中主接触器触点的断开与闭合状态。
- 2) 使用水温传感器监测电锅炉机组出口热水温度。
- 3) 监测电锅炉机组出口热水压力。
- 4) 监测电锅炉机组热水流量（可采用电磁流量计）。
- 5) 通过测出电锅炉机组热水流量、分水器进口和分水器出口热水温度可计算出空调末端设备的实际的热负荷。
- 6) 监测锅炉回水干管热水压力。
- 7) 通过对电锅炉机组控制器（柜）的运行状态输出触点的监控，在非正常状态下给出电锅炉机组故障报警。
- 8) 通过对热水泵控制配电箱接触器触点的接通与断开状态监测热水泵起停状态。
- 9) 通过对热水泵配电箱触点闭合/断开状态，监测热水泵故障情况，并能自动报警。
- 10) 使用 DDC 的数字出口对电锅炉机组的起停进行控制。

#### (2) 锅炉运行控制及节能

电锅炉系统的运行控制内容主要有连锁控制、工作设备与备用设备的切换控制和均衡运行控制、节能控制、定时控制与远程控制等。

电锅炉系统启动顺序控制：先行启动热水泵→启动电

锅炉。

电锅炉系统停止顺序控制：停运电锅炉→停运热水泵。

在系统运行过程中，出现工作设备故障或损坏时，系统自动将其从主回路中脱离，然后将备用设备投入运行。系统始终进行自动均衡运行的控制。

对于电锅炉系统可采用不同的控制方式使其节能运行，具体可使用热水回水温度法和热负荷控制法进行控制。

1) 回水温度法。电锅炉输出热水一般为 90~95℃，经交换后输出 60~65℃ 热水，经过与输运目的侧的负荷端进行热交换后，温度降低。回水温度反映了系统热负荷的大小，回水温度高，系统热负荷小，反之热负荷高。通过对锅炉机组的起/停调节以及投入运行的热水泵台数、转速的调节实现节能运行。

2) 热负荷控制法。通过对冷水机组的供/回水温度及回水干管的流量测量值，运算环节计算出实际系统热负荷，依据此热负荷值控制调节电锅炉的起停及投入运行的热水泵台数，达到节能目的。

控制系统对电锅炉按预定的时间运行表进行起停及相关控制，还可以对现场设备进行远程开/关控制。根据实际系统的情况，如电锅炉机组的台数、热水泵和补水泵的台数，排列出数字输入/出、模拟输入/出的点数，并依据此来配置 DDC 控制器。

#### (3) 热交换器及控制

对于两管制空调末端设备，要求所供热水温度为 65~70℃，但实际上热网或自备锅炉提供的热水大多不能满足这个要求，要使用热交换器（也叫换热器）来将温度较高的高温热水转换成满足一定温度要求的空调热水，热水泵加压再给分水器送至空调末端设备进行热交换；水温下降后的空调热水回流，回到集水器进入热交换器再次加热，如此循环工作。

对于热交换器的监控控制内容如下：

1) 对空调换热系统的运行参量、运行状态监测及控制，例如，热交换器一次侧热水供回水的温度监测；热交换器一次侧热水供回水的压力监测；二次热水泵起停状态监控；水流开关状态监控、热水泵起/停控制等。

2) 对热交换系统进行连锁控制。要根据严格的连锁控制关系对热交换系统进行启动顺序控制：启动二次热水循环泵→开启一次侧热水/蒸汽阀门；热交换系统的停止顺序控



制：关闭一次侧热水/蒸汽阀门→停止二次热水循环泵。

3) 运行控制及节能运行。系统正常运行要依靠自动控制环节，同时还要兼顾节能运行。可以采用热水回水温度法和热负荷控制法控制系统的节能运行。

从热交换器输出的热水经过空调末端设备，经能量交换后，温度下降，回水温度反映和描述系统的热负荷，依据回水温度作控制参量控制调节热交换器的运行台数和热水泵运行台数及转速，实现节能运行。

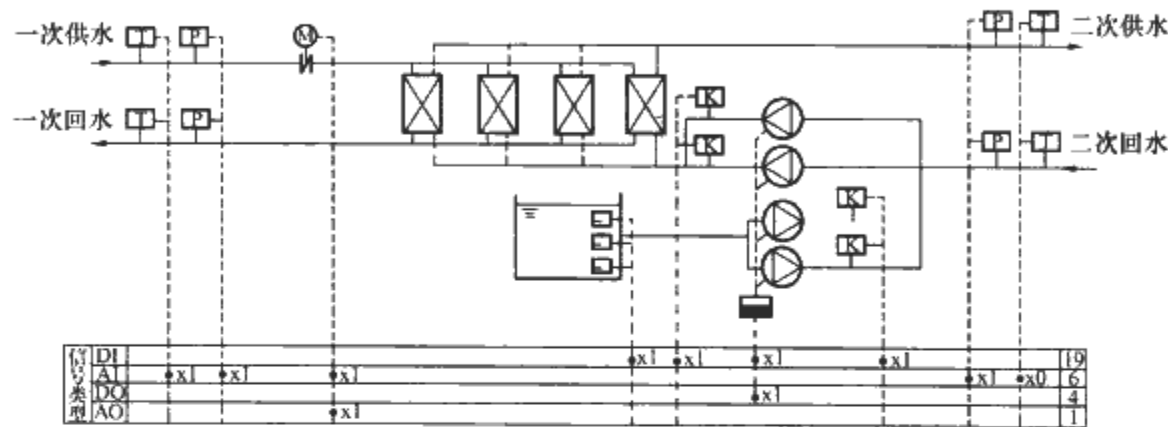
热负荷控制法是根据分水器、集水器的供回水温度以

及回水干路管道的流量值，可动态计算出空调末端设备的实际热负荷。再根据实际热负荷大小来控制调节热交换器的运行台数和热水泵的运行台数及转速，达到节能运行的目的。

4) 定时运行控制与远程控制。可对热交换器按给定的运行时间表进行运行控制，并能对楼宇内的现场设备（与热交换器相关的设备）进行远程控制。

(4) 换热站控制实例

图 6.2-15 为某换热站控制原理图。



- 8) 对送风机进行开关控制。
- 9) 对新风机风门开度的控制。
- 10) 冷水阀/热水阀开度控制调节。
- 11) 加湿阀门开度控制。
- 12) 通过装置在空调区域的  $\text{CO}_2$  传感器对空气质量进行监测。

13) 通过送风管内的风管式风速传感器检测风速。

以上风门与阀门的开度调节可通过 DDC 的 DO、AO 口对驱动器控制电路进行控制。

### (3) 新风机组运行控制与节能控制

新风机组运行控制与节能控制内容有新风机组的启动顺序控制及停机顺序控制：

1) 新风机组温度调节。新风机组的主要控制对象是出风口温度或被调节房间内的温度。传感器测出的温度值或房间内温度值传送给 DDC，DDC 将接收到的温度值与设定值比较所得差值，经由 PID 调节算法处理后调节冷/热水调节阀开度来控制冷冻水（或加热水）流量，使夏季的室内空间温度低于  $28^\circ\text{C}$ ，冬季高于  $16^\circ\text{C}$ 。

在新风机组运行中，室外温度变化对于调节系统来讲，是一个扰动输入。

2) 湿度调节。新风机组的出风口（房间）湿度由湿度传感器测出送至 DDC，经与给定值比较所得偏差，由给定算法处理后，调节加湿电动阀开度，控制空调房间内相对湿度。

3) 新风风门的调节。根据新风的温度和湿度、被调节空间的温湿度及作为湿空气的温度和含湿量的函数——焓值计算，还根据具体环境对空气质量的要求，控制调节新风风门的开度，使系统向房间提供满足实际需求的新风，同时节能运行。

4) 空气质量控制。通过安置在空调房间里的空气质量传感器监测室内的  $\text{CO}_2$ 、CO 的真实浓度，并将监测信号输送给 DDC，若超过给定值，则 DDC 输出控制信号，控制新风风门开度增大新风的供给。

5) 起停设备的控制与远程开/关操作。控制新风机组按

照给定的运行时间表进行起停，还可在控制中心对新风机组设备及空调机组实施远程控制如开/关操作。

6) 过滤器堵塞和防冻保护。当过滤器的过滤网出现积灰积尘、堵塞严重，不进行清洗或清理时，就会影响过滤器及整个新风机组的正常工作。通过压差开关监测过滤器两端压差，如压差超过设定值时，进行保护或报警。

新风机组中还设置有防冻开关，监测换热器出风侧温度。在室外温度过低，防冻开关监测到的换热器侧温度低于给定值时，关闭风门和风机，防止换热器温度进一步降低。

## 3.4 空调机组自动控制

空调机组主要由新风阀、回风阀、排风阀、过滤器、冷/热盘管、送风机组成。控制系统中的现场设备由 DDC、送风温度传感器、送风湿度传感器、防冻开关、压差开关、电动调节阀、风阀执行器等组成。

为节能运行，空调系统运行中要使用一部分回风同时为满足对室内空气洁净度的要求，还要采用一定量的新风。空调机组的工作主要是对系统中的新风和回风混合后进行热湿处理，再送入到空调房间，调节室内空气参数达到预定要求。

如何处理新风和回风比例关系，使之即满足室内空气洁净度、湿度的要求，同时又能节约运行能耗，这是空调机组必须解决好的问题。

空调机组常要承担若干个房间的空气调节任务，而不同房间可能热负荷、湿度各不相同（热湿特性不同），这使得系统控制过程变得更复杂了。

新风机组工作时，仅考虑和处理室外空气参数变化对调节系统的干扰；而空调机组也同样要受到这类系统外扰动，但除此之外，还有室内人员、设备散热、散湿量变化引起的干扰。调节系统必须有效地应对和处理这些系统外干扰；使被调节空间满足预定的温湿度要求，同时合理地降低运行能耗。

### (1) 空调机组控制实例

图 6.2-17 是一个四管制空调机组控制原理。

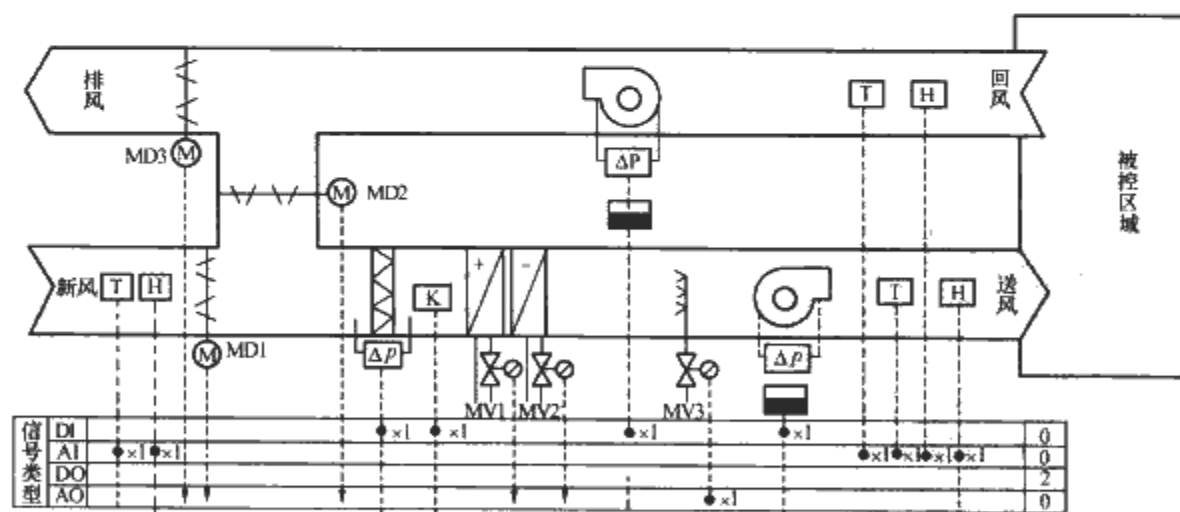


图 6.2-17 四管制空调机组控制原理图

MD1, 2, 3—风门执行器； $\Delta P$ —压差开关；K—防冻开关；  
MV1, 2—水阀；MV3—加湿器；T—温度传感器；H—湿度传感器

控制系统的各部分工作情况如下：

1) 电动风阀与送风机、回风机的连锁控制。当送风机、回风机关闭时，新风阀、回风阀、排风阀都关闭。新风阀和排风阀同步动作，与回风阀动作相反。根据新风、回风及送风焓值的比较，调节新风阀和回风阀开度。

当风机启动时，新风阀打开；风机关闭时，新风阀

关闭。

2) 当过滤器两侧压差超过设定值时，压差开关送出过滤器堵塞信号，并由监控工作站给出报警信号。

3) 送风温度传感器检测出实际送风温度，送往 DDC 与给定值进行比较，给 PID 计算后输出相应的模拟信号，控制水阀开度，直到实测温度非常逼近和等于设定温度。

4) 送风湿度传感器检测到送风湿度实际值, 送往 DDC 后与设定值比较, 经 PID 计算后, 输出相应的模拟信号, 调节加湿阀开度, 控制房间湿度达到设定值。

5) 由设定的时间表对风机起停进行控制, 并自动对风机手动/自动状态, 运行状态和故障状态进行监测; 对送风机、回风机的起停进行顺序控制。

6) 在冬季温度很低时, 防冻开关发送出信号, 风机和新风阀同时关闭, 防止盘管冻裂。当防冻开关正常工作时, 要重新启动风机, 打开新风阀, 恢复正常工作。

#### (2) 定风量空调机组运行状态及参量监控

自动控制系统对定风量空调机组进行以下运行参量及运行状态进行监控。

1) 从室外的温度传感器和新风口上的风管空气温度传感器采集室外新风温度。

2) 从室外的湿度传感器和新风口上的风管空气湿度传感器采集室外新风湿度。

3) 安装在过滤网上的压差开关监测过滤网两侧压差。

4) 从安装在送风管和回风管上的风管空气温度传感器采集送/回风温度。

5) 从安装在送风管和回风管上的风管空气湿度传感器采集送/回风湿度。

6) 使用安装在空调区域或回风管上的空气质量传感器(如 CO<sub>2</sub> 传感器)进行空气质量监测。

7) 采集由送风管上的风速传感器测出的风速对送风风速监测。

8) 自安装在送风管表冷器出风侧的防冻开关采集防冻开关状态监测信号(在冬季温度低于 0℃ 的北方地区使用)。

9) 通过送/回风机配电柜热继电器辅助触点处的开闭状态采集到送/回风机故障状态的监测。

10) 通过对送/回风机配电柜热继电器辅助触点, 对送/回风机运行状态进行监测。

11) 从 DDC 的 DO 口到新风口风门驱动器控制电路, 调节控制新风口风门开度。

12) 从 DDC 的 DO 口到回风/排风风门驱动控制电路, 控制调节回风/排风风门开度。

13) 从 DDC 的 AO 口输出冷热水二通调节阀驱动器控制电路控制调节冷热水二通调节阀开度。

14) 从 DDC 的 AO 口输出到冷/热水阀门的驱动控制器控制输入, 控制调节冷/热水阀门开度。

15) 从 DDC 的 AO 口到加湿二通调节阀驱动器控制输入, 控制调节加湿阀门开度。

16) 从 DDC 的 DO 口到送/回风机配电箱接触器控制回路, 进行送/回风机起停控制。

#### (3) 定风量空调机组的运行控制与节能运行

1) 连锁控制。定风量空调机组启动时的连锁控制顺序为: 新风风门→回风风门→排风风门开起→送风机启动→回风机启动→冷热水调节阀启动→加湿阀开起。

定风量空调机组停机时控制顺序: 关闭加湿阀→关闭冷热水阀→送风机停机→新风风门关闭→回风风门关闭→排风风门关闭。

2) 定风量空调机组的温度调节与节能运行。定风量空调机组中, 用回风温度作为被调参数, 由回风温度传感器测出的回风温度量传给 DDC, DDC 计算回风温度与设定温度的差值, 按 PID 调节规律处理并输出调节控制信号。

通过调节空调机组冷热水阀门开度调节冷/热水流量, 使被控区域的温度保持在设定值。室外温度变化通过新风温度

来反映, 新风温度值输入给 DDC 进行处理好后控制相应的调节阀开度, 进而达到空调区域的温度控制。

3) 空调机组回风湿度控制。由回风湿度传感器测出的回风湿度量值信号送回 DDC, 通过与给定值比较后产生一个偏差, 经由给定算法(PI 规律调节)后产生控制调节加湿电动阀开度, 使被调节区域的空气湿度值满足设定要求。

4) 新风风门、回风风门及排风风门的控制。由新风温/湿度传感器和回风温/湿度传感器测出的温/湿度信号量值传送给 DDC, DDC 根据这些数据进行焓值计算, 按回风和新风的焓值比例及新风量的需求, 调节新风风门和回风风门开度, 同时使系统在趋近较佳的新风、回风比例上节能运行。

5) 过滤器压差报警及机组防冻。在过滤网出现堵塞严重、积灰较严重的情况下, 装置在过滤器上的压差开关报警。冬季时, 还需要对机组进行防冻监测和控制。

6) 空气质量控制。使用 CO、CO<sub>2</sub> 等气体传感器监测室内空气质量, DDC 接收到这些测出量后, 进行对比运算, 再输出控制信号调节新风风门开度, 通过调节新风量供给来控制空调区域的空气质量。

7) 空调机组的定时运行和远程控制。通过控制系统, 按给定的时间表对空调机组进行定时起/停控制, 并能对相关设备进行远程控制。

变风量控制系统在此不再赘述。

### 3.5 风机盘管自动控制

风机盘管是空调系统的末端装置, 风机盘管一般均可以调节其风机转速(或通过旁通阀调节经过盘管的水量), 从而调节送入室内的冷/热量。

风机盘管二管制温度控制系统是由温度控制器、电动阀组成。控制器的作用是检测室内的温度并与控制器设定温度相比较, 并根据比较结果对电动阀进行通、断控制, 从而使房间温度保持恒定。

控制器通过检测室内温度, 并与设定的温度比较, 当室内需要冷风或热风时, 打开电动阀和风机, 向室内供冷或供热。

### 3.6 通风机自动控制

对于现代建筑中的一些对温湿度无较高要求, 但对空气质量有较高要求的场所, 如地下车库、一些仓储区域、厨房和锅炉机房等。对于这些区域可设置通风排风设备进行通风, 保证空气质量清新。

如果对于通排风控制精度要求不太高的场合, 可安排较简单的控制策略或时间表对通/排风设备进行程序的起/停控制。对于空气质量要求较高的调控区域, 通过 CO<sub>2</sub>、CO 传感器检测现场空气中这些气体的含量, 通过特定的控制策略, 及时启动风机及控制投入运行的风机台数及运行时间来保证空气质量。

如果排风机具有在有火情时作为排烟机或补风机的功能, 就需要在电器联动控制或监控程序方面进行整体规划与设计。

## 4 空调系统配电

### 4.1 一般要求

1) 空调系统供电负荷等级要根据服务对象的重要性, 依照各种相关标准规范确定。

2) 空调系统供电方式应达到其供电负荷等级的相关

要求。

3) 空调系统设备中部分属于季节性负荷(如制冷站系统设备等),当容量较大时,宜采用专用变压器供电。在这些季节负荷闲置时,可以切除该变压器,达到节能降耗的目的。

## 4.2 设备的启动

1) 空调系统中制冷机、空调机、循环泵等均为电机传动设备,一般都采用笼型交流电动机作为动力,其电动机启动时端子上计算电压的要求如下:

①电动机频繁启动时,不宜低于额定电压的90%,电动机不频繁启动时不宜低于额定电压的85%。

②电动机不与照明或其他对电压波动敏感的负荷合用配电母线,且不频繁启动时,不应低于额定电压的80%。

③当电动机由单独的配电母线供电时,其允许值可按机械负载启动转矩要求确定,并保证其控制用接触器的线圈电压不低于线圈释放电压。

2) 符合下列条件时,笼型交流电动机可以全压启动:

①机械负载能承受电动机全压启动时的冲击转矩。

②电动机启动时,其端子上的计算电压应符合规定。

3) 一般情况下笼型交流电动机全压启动容量可按下述条件确定:

①由公用低压网络供电时,容量在10kW及以下者。

②由居住小区变电所低压配电装置供电时,容量在14kW及以下者。

③由楼内自用变电所低压配电装置供电时,电动机不与其他对电压波动敏感的负荷合用一台变压器,并能在启动时端子计算电压要求,且容量为其对应的变压器额定容量5%以下的电动机可采用直接启动方式。

④由自备发电机直接供电的电动机在启动时应考虑自备发电机的输出功率。一般当允许发电机端电压瞬时电压降为20%时,发电机组直接启动异步电动机的能力按电动机容量的5倍计算。由于自备发电机的输出功率相对于电网的输出功率要小得多,若输出电流过大,必然会造成输出电压的急剧下降。因此,由自备发电机供电的电动机在启动时要考虑启动电流对发电机输出电压的影响,应保证在启动过程中,发电机的输出电压不要低于允许值。由于此方面的公式尚不成熟,设计时要凭经验数据进行估算。

4) 当笼型交流电动机不符合全压启动条件时,可采用降压启动方式。

常用的降压启动装置有星—三角启动器,自耦变压器启动器,无触点启动装置等。在选择一部电动机降压启动的装

置时,除了考虑启动装置等的成本以外,还应考虑机械负载对启动过程的要求以及对电动机启动转矩的要求,各种降压启动装置的性能特点如下:

①自耦变压器启动器:启动电流小,启动转矩较大,不能频繁启动。

②可变电电压自耦变压器启动器:启动电流小,启动转矩与启动时间特性优越,启动平稳,用于柴油发电机供电系统中,可使发电机与所控电动机容量之比接近1:1。

③星—三角启动器:启动电流小,启动转矩小,可以较频繁启动。

④无触点降压软启动装置:启动电流小,启动转矩较大,可以用于频繁启动。

⑤对启动时间和启动转矩有特殊要求的电动机,宜采用交流变频器作为启动装置。降压启动方式虽然降低了启动电流,但启动转矩也随之大大下降了。从某种意义上讲这是由于降低电压的同时,电源的频率是固定不变的。若想降压的同时保证转矩不变,就应使电源电压和频率同时变化,这就是为什么变频器可以保证恒转矩控制的基本原理。所以,在对电动机启动转矩有要求的场合应考虑使用变频器。

因此,对于水泵、风机等负荷,当无频繁启动要求时,可以考虑选用自耦变压器启动器,当有频繁启动要求时,应考虑选用星—三角启动器或软启动器,若从节能及节约有色金属的角度来看,软启动装置更具有优势。当采用星—三角启动方式和自耦变压器启动方式时,由于启动电压的变化是有极的,因此启动转矩也是脉动的。若机械负载要求启动转矩不能有较大的脉动,要求平稳加速减速或制动的设备可以采用软启动装置。这种装置是靠调节作为开关器件的晶闸管的导通角来控制电动机绕组上的电压,平滑地调节晶闸管的导通角,就可以平滑地调节电动机绕组上的电压,进而使电动机的转矩平滑变化,从而削弱了电动机启动转矩的脉动。

## 4.3 设备的保护

1) 由于空调系统设备大多采用电动机传动方式,因此其配电保护要满足电动机保护的相关规定。所有交流电动机均应装设相间短路保护,并根据具体情况考虑装设接地故障、过载、断相及低电压保护。由于过载是电动机损坏的主要原因,从广义上讲,过载包括机械过载、断相运行、电压过低、频率升高、散热不良、环境温度过高等。因此,电动机(包括不宜机械过载连续运行的电动机)应尽可能装设过载保护装置。

2) 根据空调设备特点,其配电保护中增加相应的保护功能,如防火阀动作连锁停机等。

## 第3章 建筑工程运输系统

建筑运输设备通常由以下设备组成：垂直运行的电梯、斜面运行的自动扶梯、倾斜或水平方向运行的自动人行道。在《电梯、自动扶梯、自动人行道术语》（GB/T 7024—1997）中，电梯定义为：服务于规定楼层的固定式升降设备；自动扶梯定义为：带有循环运行梯级，用于向上或向下倾斜输送乘客的固定电力驱动设备。自动人行道定义为：带有循环运行（板式或带式）走道，用于水平或倾斜角不大于 $15^{\circ}$ 输送乘客的固定电力驱动设备。本章将重点介绍电梯和自动扶梯。

### 1 建筑运输的种类及分类

#### 1.1 电梯的分类

根据电梯基本规格的要求，目前电梯通常按用途、速度、拖动方式、有无司机及控制方式等分类，大致如下：

##### （1）按用途分类

1) 乘客电梯，主要用于宾馆、饭店、办公楼、高层住宅公寓等场所为运送乘客设计的电梯，如图 6.3-1 所示。此类电梯要求有完善的安全设施及较舒适的轿内环境。



图 6.3-1 乘客电梯

2) 载货电梯。通常用于大型商场、仓库及生产车间为运送货物而设计的电梯，如图 6.3-2 所示。此类电梯通常有人伴随的电梯，要求结构牢靠，安全性好。

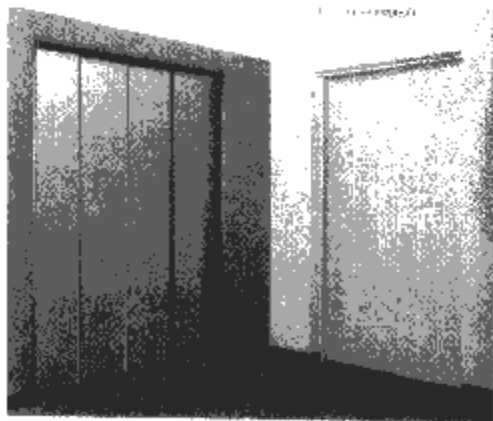


图 6.3-2 载货电梯

3) 医用电梯。主要用于医院、医疗场所为运送病人（床）、医疗器械及设备而设计的电梯，如图 6.3-3 所示。

此类电梯具有轿厢长而窄、运行无稳定等特点。

4) 观光电梯。轿厢壁透明，供乘客观光用的电梯，如图 6.3-4 所示。

5) 车辆电梯。用作装运各种车辆的电梯，如图 6.3-5 所示。

6) 杂物电梯。通常用于图书馆、办公楼、饭店为运送图书、文件、食品等而设计的电梯。轿厢的载重及面积较小，门外按钮操作，人员不得进入及乘坐，如图 6.3-6 所示。



图 6.3-3 医用电梯

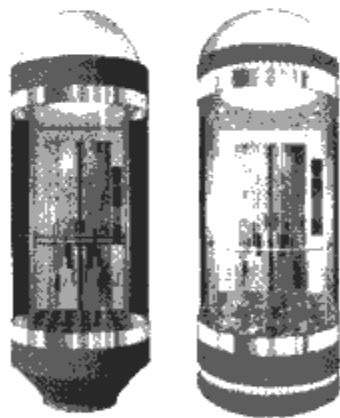


图 6.3-4 观光电梯

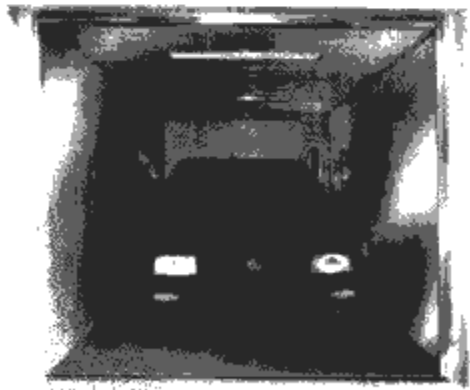


图 6.3-5 车辆电梯

7) 船舶电梯。船舶上使用的电梯。

8) 建筑施工电梯。建筑施工与维修用的电梯。

9) 斜行电梯。轿厢在倾斜的井道中沿着倾斜的导轨运行，是集观光和运输于一体的输送设备。特别是由于土地紧张而将住宅移至山区后，斜行电梯得到了迅速的发展。



10) 其他类型的电梯。除上述常用电梯外, 还有些特殊用途的电梯, 如冷库电梯、防爆电梯、矿井电梯、电站电梯、运机梯、消防员用电梯等。

#### (2) 按速度分类

电梯无严格的的速度分类, 我国习惯上按下述方法分类。

1) 低速梯。额定速度低于 1.00m/s 速度的电梯。

2) 中速梯。额定速度在 1.00 ~ 2.00m/s 的电梯。

3) 高速梯。额定速度大于 2.00 ~ 5.00m/s 的电梯。

4) 超高速。额定速度超过 5.00m/s 的电梯。随着电梯技术的不断发展, 电梯速度越来越高, 区别高、中、低速电梯的速度限值也在相应地提高。

#### (3) 按拖动方式分类

1) 交流电梯。用交流感应电动机作为驱动力的电梯, 又可分为交流单速、交流双速、交流调压调速 (ACVV)、交流变压变频调速 (VVVF) 电梯等。

2) 直流电梯。用直流电动机作为驱动力的电梯, 又可分为直流发电机—电动机、晶闸管整流供电直流电梯, 这类电梯的额定速度一般在 2.00m/s 以上。

3) 液压电梯。一般利用电动泵驱动液体流动, 由柱塞使轿厢升降的电梯, 又可分为柱塞直顶式、柱塞侧置式液压电梯。

4) 齿轮齿条电梯。将导轨加工成齿条, 轿厢装上与齿条啮合的齿轮, 电动机带动齿轮旋转使轿厢升降的电梯。

5) 螺杆式电梯。将直顶式电梯的柱塞加工成矩形螺纹, 再将带有推力轴承的大螺母安装于油缸顶, 然后通过电机经减速机 (或皮带) 带动螺母旋转, 从而使螺杆顶升轿厢上升或下降的电梯。

6) 直线电机驱动的电梯。其动力源是直线电机。

#### (4) 按控制方式分类

1) 手柄开关操纵。是由电梯司机在轿厢内控制操纵盘手柄开关, 实现轿厢上、下运动、平层、停止功能的电梯, 要求轿厢门上有透明窗口或使用栅栏轿厢门及井道壁设平层标记。

2) 按钮控制电梯。是一种通过轿外按钮或轿内按钮发出指令, 实现自动平层、开关门功能的简单自动控制电梯。

3) 信号控制电梯。这也是一种由电梯司机操控实现轿厢运行的自动控制程度较高的有司机电梯, 除具有自动平层, 自动开门功能外, 还有轿厢命令登记, 层站召唤登记, 自动停层, 顺向截停和自动换向等功能。

4) 集选控制电梯。是一种在信号控制基础上发展起来自动控制程度更高的电梯, 实现将轿厢内召唤信号、层站召唤信号及其他信号综合分析判断后决定轿厢运行的无司机操纵电梯。一般集选控制电梯均设有“有/无司机”操纵转换开关。同时集选控制电梯又可分为双向集选和单向集选电梯。

5) 并联控制电梯。将 2~3 台集中排列的电梯共用层站召唤信号, 按设定的逻辑顺序自动调度, 决定其运行, 且每部电梯本身都具有集选功能。

6) 群控电梯。将多台集中排列的电梯共用层站召唤信

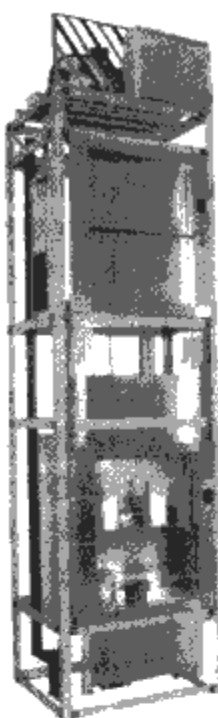


图 6.3-6 杂物电梯

号, 按规定的程序通过微机控制和统一调度的电梯。群控电梯有梯群程序控制、梯群智能控制等形式。

#### (5) 按电梯有无司机分类

1) 有司机电梯。电梯的运行方式由专职司机操纵来完成。

2) 无司机电梯。乘客进入电梯轿厢, 按下操纵盘上所需要去的层楼按钮, 电梯自动运行到达目的层楼, 这类电梯一般具有集选功能。

3) 有/无司机电梯。此类电梯的控制电路可变换, 平时由乘客操纵, 必要时改由司机操纵。

#### (6) 按额定载重量分类

电梯的额定载重量 (kg) 标准系列有 400、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3000、3500、4000、5000、8000、10 000kg。

1) 乘客电梯额定载重量 (kg) 有 400、630、800、1000、1250、1600。

2) 住宅电梯额定载重量 (kg) 有 400、630、800、1000。

3) 载货电梯额定载重量 (kg) 有 630、1000、1600、2000、2500。

4) 医用电梯额定载重量 (kg) 有 1600、2000、2500。

5) 杂物电梯额定载重量 (kg) 有 40、100、250。

#### (7) 其他分类方式

1) 按机房位置分类。则有机房在井道顶部的 (上机房) 电梯、机房在井道底部旁侧的 (下机房) 电梯, 以及有机房在井道内部的 (无机房) 电梯。

2) 按轿厢尺寸分类。则经常使用“小型”、“超大型”等抽象词汇表示。此外, 还有双层轿厢电梯等。

### 1.2 自动扶梯的分类

如图 6.3-7 所示, 目前自动扶梯, 通常按驱动装置位

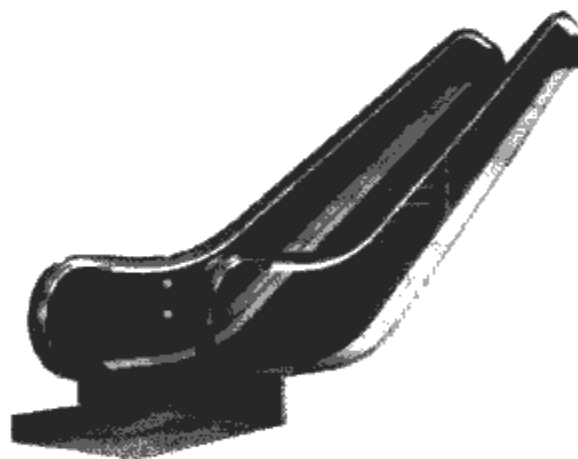


图 6.3-7 自动扶梯

置、牵引构件型式、扶手外观、提升高度、路线型式等分类, 大致如下:

#### (1) 按驱动装置位置分类

1) 端部驱动自动扶梯 (或称链条式)。驱动装置置于自动扶梯头部, 并以链条为牵引构件的自动扶梯。

2) 中间驱动自动扶梯 (或称齿条式)。驱动装置置于自动扶梯中部上分支与下分支之间, 并以齿条为牵引构件的自动扶梯。一台自动扶梯可以装有多组驱动装置, 也称多级驱动组合式自动扶梯。

#### (2) 按牵引构件型式分类

1) 链条式自动扶梯 (或称端部驱动式)。以链条为牵引构件、驱动装置置于自动扶梯头部的自动扶梯。



2) 齿条式自动扶梯(或称中间驱动式)。以齿条为牵引构件、驱动装置置于自动扶梯中部上分支与下分支之间的自动扶梯。

(3) 按自动扶梯扶手外观分类

1) 全透明扶手自动扶梯。扶手带只用全透明钢化玻璃支撑的自动扶梯。

2) 半透明扶手自动扶梯。扶手带用半透明钢化玻璃及少量撑杆支撑的自动扶梯。

3) 不透明扶手自动扶梯。扶手带采用支架并覆以不透明板材支撑的自动扶梯。

(4) 按提升高度分类

1) 提升高度为3~6m的小高度自动扶梯。

2) 提升高度为6~20m的中高度自动扶梯。

3) 提升高度为大于20m的大中高度自动扶梯。

(5) 按自动扶梯路线型式分类

1) 直线型自动扶梯。扶梯梯路为直线型的自动扶梯。

2) 螺旋型自动扶梯。扶梯梯路为螺旋型的自动扶梯。

### 1.3 自动人行道分类

1) 踏步式自动人行道。由一系列踏步组成的活动路面、两旁装有活动扶手的自动人行道。

2) 钢带式自动人行道。在整根钢带上覆橡胶层组成的活动路面、两旁装有活动扶手的自动人行道,如图6.3-8所示。



图 6.3-8 自动人行道

3) 双线式自动人行道。由一根销轴垂直放置的牵引链条构成来回两分支、在水平面内的闭合轮廓,以形成一来一回2台运行方向相反的自动人行道。两旁皆有活动扶手装置。

### 1.4 电梯、自动扶梯的参数

(1) 电梯的主要参数

为使用户合理选购及表明电梯的基本特征,每部电梯均应注明以下参数及规格:

1) 额定载重量(乘客人数),即指制造和设计规定的电梯载重量。对于客用电梯,还有轿厢乘客人数的限定(包括电梯司机在内)。

2) 额定速度,即制造和设计所规定的电梯运行速度。

3) 轿厢尺寸,即宽×深×高,是指轿厢内部的尺寸。

4) 门的形式,如封闭式中分门和双折门、旁开式双折门或三扇门、前后两面开门、栅栏门、自动门、手动门等,并包括开门方向。

5) 开门宽度,指轿厢门和层门完全开启后的净宽。

6) 层站数量,即建筑物内各楼层用于出入轿厢的地点

数量。

7) 提升高度,是指从底层端站楼面至顶层端站楼面之间的垂直距离。

8) 顶层高度,即由顶层端站楼面至机房楼板或隔层楼板下最突出构件的垂直距离。该参数与电梯的额定速度有关,一般梯速越高,顶层高度就越高。

9) 底坑深度,指由底层端站楼面至井道底平面之间的垂直距离。它同样与梯速有关,一般速度越快,底坑则越深。

10) 井道总高度,即由井道底平面至机房楼板或隔层楼板之间的垂直距离。

11) 井道尺寸,即宽和深,是指井道内部的尺寸。

12) 拖动方式,如交流电机拖动、直流电机拖动等。

13) 控制方式,如手柄控制、按钮控制、集选控制、有/无司机控制等。

14) 信号装置,如呼梯按钮、层灯指示的方向和位置、呼叫方式等。

15) 轿厢装置与装饰要求。轿厢装置通常是指照明灯、电风扇、电话、扶手等。装饰则包括轿厢和层门、门套的材质、颜色,轿顶装饰的特定要求等。

(2) 自动扶梯、自动人行道的主要参数

自动扶梯的主要参数有:

1) 提升高度  $H$ 。提升高度是建筑物上、下层楼之间或地下铁道地面与地下站厅间的高度。我国目前生产的自动扶梯系列为:商用型  $H \leq 7.5\text{m}$ ;公共交通型  $H \leq 50\text{m}$ 。

2) 输送能力  $Q$ 。输送能力是指每小时运载人员的数目。当自动扶梯或自动人行道各梯级(踏板或胶带)被人员站满时,作为理论上的最大小时输送能力。但是,实际值应该考虑到乘客登上自动扶梯或自动人行道的速度,也就是梯级运行速度对自动扶梯或自动人行道满载的影响。

3) 运行速度  $v$ 。自动扶梯或自动人行道运行速度的大小,直接影响到乘客在自动扶梯或自动人行道上停留的时间。如果速度太快,影响乘客顺利登梯,满载系数反而降低。反之,速度太慢时,不必要地增加了乘客在梯路上的停留时间。因此,正确地选用运行速度显得十分重要。

国际规定:自动扶梯倾斜角  $\alpha \leq 30^\circ$  时,其运行速度应不超过  $0.75\text{m/s}$ ;自动扶梯倾斜角  $\alpha > 30^\circ$ ,但  $\alpha \leq 35^\circ$  时,其运行速度应不超过  $0.50\text{m/s}$ 。自动人行道的运行速度应不超过  $0.75\text{m/s}$ ,但如果踏板或胶带的宽度不超过  $1.1\text{m}$  时,自动人行道的运行速度最大允许达到  $0.90\text{m/s}$ 。

4) 梯级(踏板或胶带)宽度  $B$ 。目前我国所采用的梯级宽度  $B$  有:

①小提升高度时,单人的为  $0.6\text{m}$ ;双人的为  $1.0\text{m}$ 。

②中、大提升高度时:双人的为  $1.0\text{m}$ 。另外还有  $0.8\text{m}$  的规格。

③踏板(或胶带)的宽度一般有  $0.8\text{m}$  和  $1.0\text{m}$  两种规格。

5) 倾斜角  $\alpha$ 。倾斜角  $\alpha$  是指梯级、踏板或胶带运行方向与水平面构成的最大角度。自动扶梯的倾斜角一般采用  $30^\circ$ ,采用此角度主要是考虑到自动扶梯的安全性,便于结构尺寸的处理和加工。但有时为了适应建筑物的特殊需要,减少扶梯所占的空间,也可采用  $35^\circ$ 。建筑物内普通扶梯的梯级尺寸比例为  $16:31$ ,为了在这种扶梯旁边同时并列地安装自动扶梯,自动扶梯也可采用  $27.3^\circ$  的倾角。

国际规定:自动扶梯的倾斜角  $\alpha$  不应超过  $30^\circ$ ,当提升高度不超过  $6\text{m}$ ,额定速度不超过  $0.50\text{m/s}$  时,倾斜角  $\alpha$  允

许增至 35°。自动人行道的倾斜角不应超过 12°。

## 2 电梯、自动扶梯的配电

### 2.1 电梯、自动扶梯的配电要求及负荷等级

1) 各类建筑物电梯的负荷分级按照《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008) 第 3 章有关原则确定。《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008) 附录 A 中未详列者可按下列规定确定: 一般乘客电梯为二级, 重要的为一级; 一般载货电梯、医用电梯为三级, 重要的为二级; 自动扶梯和自动人行道一般为三级, 重要的为二级。

2) 电梯、自动扶梯和自动人行道的电源应由专用回路供电, 并不得和其他导线敷设于同一电线管或电线槽中。

3) 每台电梯、自动扶梯和自动人行道应装设单独的隔离电器和短路保护, 并设置在机房内便于操作和维修的地点。但该隔离电器和断路器不应切断下述供电电路:

- ①轿厢、机房和滑轮间的照明和通风。
- ②轿顶、底坑的电源插座。
- ③机房和滑轮间内的电源插座。
- ④电梯井道照明。
- ⑤报警装置。

为此, 电梯的工作照明和通风装置以及各处用插座的电源, 宜由机房内电源配电箱(柜)单独供电; 厅站指层器照明, 宜由电梯自身动力电源供电。

4) 电梯电源设备的馈电开关宜采用低压断路器。低压断路器的额定电流应根据电梯持续负荷电流和拖动电动机的起动电流来确定。

5) 低压断路器的过电流保护装置的负载电流-时间特性应同电梯、自动扶梯和自动人行道设备负载-时间特性相配合。

6) 电梯、自动扶梯和自动人行道的供电容量, 应按它的全部用电负荷确定, 即为拖动电机的电源容量与其他附属用电容量之和。对于由电动发电机组向直流曳引机供电的直流电梯, 其电动机的功率是指拖动发电机的电动机或其他直流电源装置的功率。

7) 单台电梯拖动电机所需的电源容量按式 (6.3-1) 计算。

$$S \geq \sqrt{3}UI \times 10^{-3} \quad (6.3-1)$$

式中,  $S$  为电源容量, kVA;  $U$  为电源电压, V;  $I$  为直流电梯为满载上行时的电流, A; 交流电梯为满载电流。当额定电流为 50A 及以下时, 为额定电流的 1.25 倍; 当额定电流大于 50A 时, 为额定电流的 1.1 倍。

当电梯数量为 2 台及以上时, 应考虑同时使用系数, 见表 6.3-1。

自动扶梯和自动人行道的用电容量可为电动机铭牌容量。

表 6.3-1 同时使用系数

台数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
使用程度频繁	1.00	0.91	0.85	0.80	0.76	0.72	0.69	0.67	0.64
使用程度一般	1.00	0.85	0.78	0.72	0.67	0.65	0.59	0.56	0.54

### 2.2 电梯、自动扶梯的控制及联动要求

1) 电梯的控制方式应根据电梯的不同类别, 不同的使用场所条件及配置的电梯数量等因素综合比较确定, 做到操

作方便、安全可靠、节约电能、经济技术指标先进。

2) 对于载货电梯和病床电梯可采用简易自动式; 乘客电梯可采用集选控制方式, 但对电梯台数较多的大型公共建筑宜采用群控运行方式。有条件时宜使电梯具有节能控制、电源应急控制、灾情(地震、火灾)控制及自动营救控制等功能。

3) 住宅及公寓的电梯禁止使用“无司机”自动工作方式。

4) 高层建筑内的乘客电梯, 应符合防灾系统的设置标准, 并采取以下相应的应急操作措施:

①正常电源与防灾系统的电源转换时, 消防电梯能及时投入。

②发现灾情后电梯能迅速依次停落在指定层, 轿厢内乘客能迅速疏散。

③当消防电梯平时兼作普通客梯使用时, 应具有火灾时工作程序的转换装置。

5) 对于超高层建筑和级别高的宾馆、大厦等大型公共建筑, 在防灾控制中心宜设置显示各部电梯运行状态的模拟盘及电梯自身故障或出现异常状态时的操纵盘。事故运行操纵盘的内容包括以下几点:

- ①电梯异常的指示器。
- ②轿厢位置的指示器。
- ③轿厢起动和停止的指示器、远距离操纵装置。
- ④停电时运行的指示器和操纵装置。
- ⑤地震时运行的指示器和操纵装置。
- ⑥火灾时运行的指示器和操纵装置。

### 2.3 电梯井道照明的要求

1) 高层建筑内的乘客电梯, 轿厢内应有应急照明(自容方式), 连续供电时间不少于 20min。轿厢内的工作照明灯数不应少于两个, 轿厢底面的照度不应小于 5lx。

2) 井道内应设置永久性电气照明, 其具体做法可为: ①距井道最高点和最低点 0.50m 以内各装一盏灯, 中间每隔一定距离(但不宜超过 7m)分设若干盏灯; ②对于井道周围有足够照明条件的非封闭式井道, 井道中可不设照明装置。

3) 轿顶及井道照明电源电压宜为 36V; 当采用 220V 时, 应装设剩余电流动作保护器。

### 2.4 电梯、自动扶梯其他的要求

1) 在轿顶、机房、滑轮间、底坑应装有 2P+PE 型的电源插座。电压不同的电源插座, 应有明显区别, 并不得存在互换的可能和弄错的危险。

2) 设有消防控制室的高层建筑中, 乘客电梯的轿厢内宜设有保安控制室及机房值班室的通信电话; 根据需要亦可设监视摄像机。

3) 在气温较高地区, 当机房的自然通风条件不能满足要求时, 应采取空调或机械通风散热措施。

4) 向电梯供电的电源线路, 不应敷设在电梯井道内。除电梯的专用线路外, 其他线路不得沿电梯井道敷设。在井道内敷设的电缆和电线应是阻燃和耐潮湿的, 穿线管槽亦应为阻燃型。

5) 附设在建筑物外侧的电梯, 其布线材料和方法以及所用电器器件均应考虑气候条件的影响, 并应做好防水处理。

6) 机房、轿厢和井道中电气装置的间接接触保护, 应符合下列要求:

- ①与建筑物的用电设备采用同一接地型式保护, 可不另

设接地装置。

②整个电梯装置的金属件，应采取等电位连接措施。

③轿厢接地线如利用电缆芯线时不得少于两根，采用铜心导体每根芯线截面积不得小于 $2.5\text{mm}^2$ 。

## 2.5 电梯用电容量的计算

(1) 单台电梯用电容量

$$P_N = \frac{(1 - K_P)Gv}{102\eta} \quad (6.3-2)$$

式中， $P_N$ 为曳引电动机额定功率，kW； $K_P$ 为平衡系数，一般取 $0.45 \sim 0.55$ ； $G$ 为电梯额定载重量，kg； $v$ 为电梯额定速度，m/s； $\eta$ 为电梯传动总效率，交流电梯取 $0.55$ 。

(2) 多台电梯用电容量的计算

1) 按单位面积功率密度法

$$P_{N\Sigma} = \frac{\sum P_0 S_P}{1000} \quad (6.3-3)$$

式中， $P_{N\Sigma}$ 为多台电梯用电容量，kW； $P_0$ 为单位面积功率密度，一般取 $8\text{W/m}^2$ ； $S_P$ 为建筑物的面积， $\text{m}^2$ 。

2) 按电梯功率统计

$$P_{N\Sigma} = \sum P_N N \quad (6.3-4)$$

式中： $P_{N\Sigma}$ 为多台电梯用电容量，kW； $P_N$ 为单台电梯曳引电动机额定功率，kW； $N$ 为电梯台数。

(3) 电梯供电系统用电容量的计算

对于建筑物内工作电梯较少（一台或两台），虽然电梯属频繁短时工作制，但在工程中计算电梯供电系统用电容量时可近似认为电梯仍然处于长期工作制，故电梯供电系统用电容量可由式（6.3-5）计算

$$P_S = P_N + P_f \quad (6.3-5)$$

式中， $P_S$ 为供电系统用电容量，kW； $P_N$ 为电梯曳引电动机额定功率，kW； $P_f$ 为电梯附属设备用电量，kW。

对于建筑物内工作电梯较多（多于两台），且同时工作，工程中计算电梯供电系统用电容量时则应考虑电梯为重反复短时工作制。既将电梯曳引机的额定功率换算为暂载率（JC%）为25%时的功率，可由式（6.3-6）计算

$$P_S = P_N \sqrt{\frac{F_C}{0.25}} + P_f = 2P_N \sqrt{F_C} + P_f \quad (6.3-6)$$

式中， $P_S$ 为供电系统用电容量，kW； $P_N$ 为电梯曳引电动机额定功率，kW； $P_f$ 为电梯附属设备用电量，kW。 $F_C$ 为负载持续率，客梯取60%，货梯、医用梯、服务梯等取40%。

## 2.6 电梯计算电流的计算

(1) 按长期工作制计算

$$I_{js} = I_N + I_f \quad (6.3-7)$$

(2) 按反复短时工作制计算

$$I_{js} = 1.15 I_N \sqrt{F_C} + I_f \quad (6.3-8)$$

式中， $I_{js}$ 为电梯曳电机计算电流，A； $I_N$ 为曳引电动机额定电流，A； $I_f$ 为电梯附属设备工作电流，A。

自动扶梯的计算电流，可按每级拖动电机的连续工作制额定电流加上每级的照明负荷电流（一般为200V单相）。对于多级、双自动扶梯或多级的双自动扶梯的照明负荷应分别接于不同相上，尽可能做到三项平衡。

## 2.7 电梯、自动扶梯尖峰电流的计算

$$I_{jf} = I_{js} + I_N + I_Q \quad (6.3-9)$$

式中， $I_{jf}$ 为电梯曳电机尖峰电流，A； $I_{js}$ 为电梯曳电机计算电流，A； $I_N$ 为曳引电动机额定电流，A； $I_Q$ 为电梯曳电机

起动电流，A。

通过以上计算，便可根据电梯供电系统的要求选择相应的电气设备及导线等。

## 3 电梯、自动扶梯的电气控制

不同的电梯，不论采用何种控制方式，总是按轿厢内指令，层站召唤信号要求，向上或向下起动，起行，减速，制动，停站。电梯的控制主要是指对电梯原动机及开门机的起动，减速，停止，运行方向，指层显示，层站召唤，轿车内指令，安全保护等指令信号进行管理。

### 3.1 单台电梯的电气控制组成

电梯的控制系统主要有继电器控制和微机控制两类。其控制功能的实现主要由以下几种不同线路的功能控制环节来完成：轿内指令控制、厅外唤梯控制、开关门控制、主拖动控制、换速控制、定向选层控制、位置信号显示控制、平层控制、特种状态控制（如检修功能、消防功能、保护功能）等。电梯的控制系统各环节联系图如图6.3-9所示。

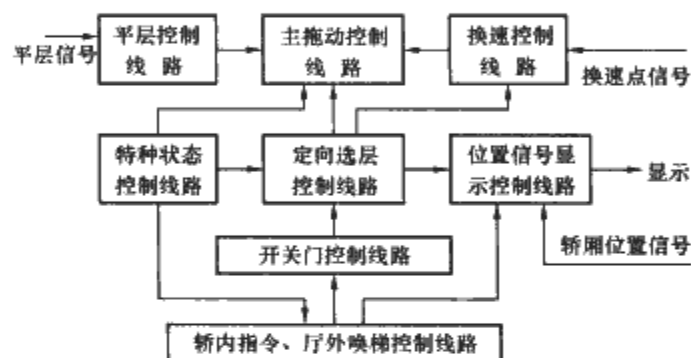


图 6.3-9 电梯的控制系统各环节联系图

(1) 轿内指令、厅外唤梯控制线路

轿内操纵箱上对应每一层楼设一个带灯的按钮，也称指令按钮。乘客入轿厢后按下要去的层站按钮 $iSN$ ，相对应的继电器 $iKN$ 就动作，按钮灯 $iEN$ 便亮，即轿内指令登记，运行到目的层站后，该指令被消除，按钮灯熄灭。其逻辑实现的控制线路如图6.3-10(a)、(b)所示。由于换速辅助继电器 $iKHF$ 的触点经常接触不良，故在串联式轿内指令控制线路中会影响第 $i$ 层轿内指令的登记，即影响电梯到达该层或前往该层的乘客使用电梯的要求。而并联式轿内指令控制线路恰好与之相反，不影响轿内指令的登记，仅影响信号的消除。因此并联式轿内指令控制线路应用更广泛一些。当然并联式轿内指令控制线路也有其不足，即每层需要有一个限流电阻，这将会使各层轿内指令继电器 $iKN$ 线圈的工作电压与电源的电压不一致，同时也因无指令电阻长期工作时增加了线路的耗能。

电梯的层站召唤信号是通过各个楼层门口旁的按钮来实现的。信号控制或集选控制的电梯，除顶层只有下呼按钮 $DSXZ$ ，底层只有上呼按钮 $ISSZ$ 外，其余每层都有上下召唤按钮 $iSSZ$ 和 $iSXZ$ 。每个层站召唤按钮对应一个层站上行或下行唤梯继电器 $KSZ$ 和 $KXZ$ 。其逻辑实现的控制线路如图6.3-10(c)所示。

(2) 开关门控制线路

电梯的自动门机构安装于轿厢顶上，电气控制系统通过它带动轿厢门启闭，且电梯在任意一层平层时通过机械联动机构带动厅门与轿厢门同步启闭。虽不同的电梯自动门的控制要求不完全相同，但基本功能及要求是一致的，即使电梯门在启闭过程中达到快而稳，因此必须对自动门机系统进



图 6.3-12 所示为采用交流双速电动机传动的电梯传动原理图。电梯起动过程中,为了限制起动电流、减小电网电压的波动及减小起动时的加速度,改善乘坐的舒适感和防止机械冲击,一般在电动机定子中串入电阻、电抗或电阻和电抗组合,进行降压起动。随着电动机转速升高,逐级切除电阻或电抗,使电梯逐步加速,进入稳定运行。起动过程中常采用一级或两级切除电阻、电抗。减速时,电动机由高速绕组转换到低速绕组,为了限制其制动电流及减速速度,防止冲击过大,通常按二级或三级切除电阻、电抗。通过调整串接电阻或电抗的大小,以及控制逐级切除电阻或电抗的时间,改变其加速度和减速度,以满足加减速度和舒适感的要求。

图 6.3-12 中电路采用一级串电抗起动，二级串电抗电阻减速。起动时串入电抗 XQ，经一段时间后接触器 1C 吸合，电动机转入自然特性运转。减速时快速接触器 KC 释放，慢速接触器 MC 吸合，电动机慢速绕组串入电抗 XJ 和电阻 R 运行，经延时后，2C 吸合，短接电阻 R，电动机串电抗 XJ 运行，再延时一段时间，使 3C 吸合，电动机在慢速自然特性上运行，直至上行接触器 SC 或下行接触器 XC 释放，电动机停止运转。

从图 6.3-13 电动机串电阻、电抗机械特性可看出, 电梯从串电抗机械特性上起动, 起动转矩为  $T_b$ ,  $T_b < T_Q$ , 起动时冲击较小, 舒适感较好。电动机转速上升到  $n_b$  时, 短接电抗器  $X_Q$ , 电动机转到自然特性 2 上 c 点, 然后加速到  $n_d$  稳定运行。

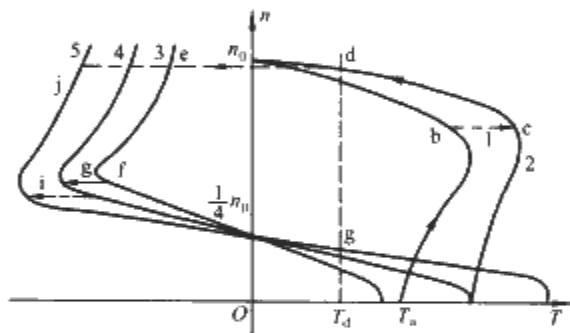


图 6.3-13 电动机串电阻、电抗起动时机械特性的变化  
1—串电抗 XQ 特性；2—6 极自然特性；3—串 XJ、R 特性；  
4—串电阻 R 特性；5—24 极自然特性

当 KC 释放, MC 吸合, 电动机由快速绕组转换到慢速绕组时。如果不串电阻、电抗, 电动机转速将过渡到特性曲线 5 上的 i 点, 电动机进入回馈制动运行状态, 其制动转矩可达额定转矩的 2.4~4.5 倍, 它将使轿厢急剧减速, 产生很大的冲击力, 危及人身及电梯装置安全。为减小减速时的冲击, 采取串电阻、电抗减速运行。减速时电动机运行于串电阻电抗机械特性 3 的 e 点, 制动转矩大大降低, 通常允许为额定转矩的 1.5~1.8 倍。转速沿特性 3 下降到 f 点, 2C 吸合短接电阻 R, 电动机串电抗 XJ, 运行于特性曲线 4, 制动转矩增大, 转速下降到 g 点, 3C 吸合短接全部电阻电抗, 电动机运行于特性 5, 直到 MC 释放, 电动机停转。

图 6.3-12 交流双速拖动原理图对应的控制原理如图 6.3-14 所示, 当电梯上行起动时, QJ 和 SC 吸合, QJ 吸合→KC 吸合接通高速绕组。SC 吸合后各继电器动作。电梯运行到减速点, QJ 释放→KC 释放→MC 吸合, 电动机慢速绕组通电。1CSJ、2CSJ、3CSJ 的延时一般在 0.3~3s 之间, 调整时间继电器或改变继电器并联电容数值大小可调整延时。这种控制方式称为时间原则控制。

#### (4) 换速控制线路

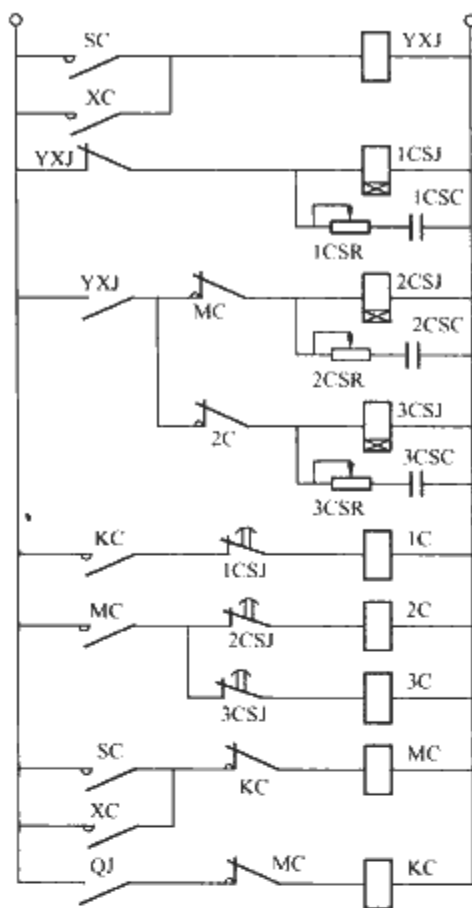


图 6.3-14 控制原理图

电梯在到达内、外指令确定的楼层平面之前，应该提前一定的距离开始降低速度，这个过程称为换速。换速的方法随电梯类型和传动系统的控制方法而不同，但在逻辑控制上基本原理是相似的。

下面以交流双速电梯的换速控制为例，这种电梯的换速过程比较简单。由上文交流双速电梯的控制线路可知，只要在换速时刻将高速接触器 KG 断开，同时低速接触器 KD 得电即可。图 6.3-15 是相应的逻辑控制简化线路，其中 KKM、KGM 分别是开、关门继电器的触点；SAB 是安全触板开关；KMS 是门锁继电器的触点，它在电梯厅、轿厢门全都关闭时闭合；KMQ 是门区继电器。

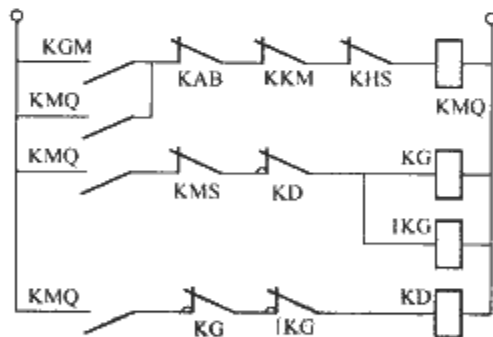


图 6.3-15 双速电梯的换速控制线路

设电梯起动前关门，KGM 闭合，故 KMQ 得电并自锁。由于 KMQ 闭合，当门关好后 KMS 闭合，于是接触器 KG 得电。这时电动机接通高速绕组起动运行，电梯运行继电器 KYX 触点闭合。由选层线路的分析可知，电梯将要到达应停靠的楼层时总会使换速继电器 KHS 得电。故在图 6.3-15 中有：KHS 断开→KMQ 断电→KMQ 断开→KG 断电→KG 闭合→KD 得电。这样电梯就完成了由高速到低速的转换。需要说明的是，这里只介绍了换速过程，对于速度转换时为保证舒适感而采取的控制做了省略。

对于采用闭环连续控制的调速电梯而言,换速过程也是在取得 KHS 信号后开始的,但这种电梯速度一般较高,在长距离和短距离运行时,换速时刻的速度不一样,因此应考







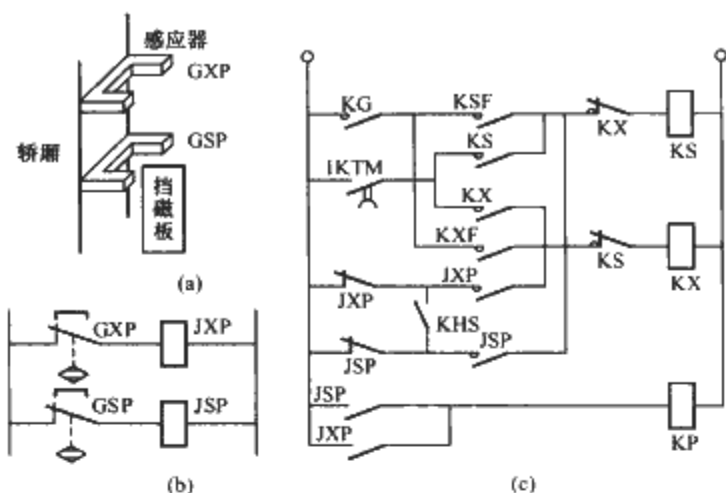


图 6.3-20 典型电梯平层控制线路

(a) 平层感应器位置示意图；(b) 感应器线路图；

(c) 典型电梯平层控制线路

电梯换速后，高速接触器触点 KG 断开，换速接触器触点 KHS 闭合，电梯做慢速运行。此时，在上（下）方向接触器 KS（KX）的自锁作用下，电梯仍保持原来的运行方向。当电梯开始平层时，触点 1KTM 将打开，则 KS 或 KX 的正常自锁通路被切断，电梯运行仅受平层信号 JXP 或 JSP 的控制。当 JXP 得电而 JSP 未得电，此时轿厢底部在厅门地坎上面，由图 6.3-20 (c) 得知，电梯将继续低速下行；反之电梯低速上行。仅当 JXP 和 JSP 同时得电（即挡磁板位于感应器 GXP 和 GSP 之间）时，KS 和 KX 线圈不通电，这时电梯主电源被切断从而停车，轿厢底部正好于厅门地坎平齐。同时将电梯进入平层区域的信号由接触器 KP 给出。

#### (8) 特种状态控制线路

##### 1) 检修运行控制线路。检修控制的基本要求如下：

①在轿厢顶和轿厢内操纵盘上分别设检修开关 SJXD 和 SJXN，并分别设上、下检修按钮 SSA<sub>D</sub>/SXA<sub>D</sub> 和 SSA<sub>N</sub>/SXA<sub>N</sub>。

②按下 SSA<sub>D</sub>/SXA<sub>D</sub> 或 SSA<sub>N</sub>/SXA<sub>N</sub> 只能实现点动运行。

③检修速度不应超过 0.63m/s。

④为了保证轿顶检修人员安全，要求检修时具备“轿顶优先”功能，即扳下 SJXD 时，只有在轿顶按 SSA<sub>D</sub>/SXA<sub>D</sub> 能使电梯运行，而在轿内按 SSA<sub>N</sub>/SXA<sub>N</sub> 不能使电梯起动。当 SJXD 处于常态，扳下 SJXN 时，在轿顶和轿内均可使电梯运行。

⑤一般情况下，只有当轿厢门及各层厅门全都关闭情况下方可实现检修运行，若需要开门进行检修运行时，应设置专用的主令元件。

⑥检修时应切断轿内指令、厅外召唤、选层平层等正常运行控制环节。检修运行控制的实现线路因电梯类型而异。如图 6.3-21 所示，是双速电梯的实现方法。图 6.3-21 (a) 是检修方向控制线路，其中 KJX 是检修继电器，KSF/KXF 是上/下方向辅助继电器，用来控制检修时电梯的方向。KMS 是门锁继电器，它受轿厢门开关 SJM 和各层厅门开关 1STM~nSTM 的控制。SYJ 是应急按钮，用于在检修状态下的开门运行。图 6.3-21 (b) 是主电路控制线路简化原理图，图中 KS/KX 是上/下方向接触器，KG/KD 分别是高/低速度绕组接触器。从图 6.3-21 可见，当扳动 SJXD 时，只能在轿顶点动使电梯上下运行；若在轿内扳动 SJXN 时，可以在轿内控制电梯。若要使电梯开门运行时，应同时按下按钮 SYJ 和方向按钮 SSA/SXA。当进入检修状态时，KJX 得电，其触点可切断正常运行时的有关控制环节。SSX 和 SXX 分别是上下终端限位开关。设置在井道中的两个极限端，以保证检修人员在轿顶和底坑检修时的安全。从图 6.3-

21 (b) 可见，在检修状态下电动机的高速接触器 KG 不能工作，故只能通过低速接触器 KD 使电梯运行，如果不按下按钮 SYJ，则只有门全部关好时才可能使触点 KMS 闭合，否则即使在检修状态电梯也不会运行。

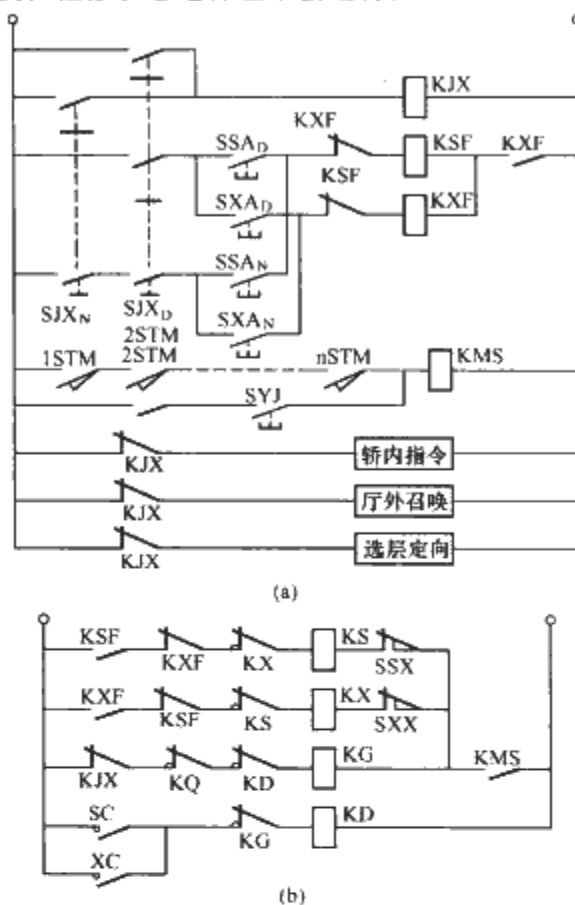


图 6.3-21 典型电梯平层控制线路

(a) 检修方向控制线路；(b) 主电路控制线路图

2) 消防运行控制线路。消防减灾是建筑物设计和建造时必须予以考虑的内容之一。为此各种建筑楼宇及其运输设备均应设置消防灭火装置。我国消防部门规定：一幢高层建筑大楼内无论电梯台数多少，必须要有一台电梯能供消防人员灭火专用，而对其他台电梯也应有利于火灾时的人员疏散。因此在电梯的控制系统中应设有火灾时供消防人员专用的控制环节。

当建筑物发生火灾时，电梯井道会形成一条通道，加速大火的燃烧。因此发生火灾时应当关闭所有厅门，封闭电梯井道。同时，为了乘客的安全，应将正在运行的电梯迫降至底层（或基站），在消防人员到达现场时又可供消防人员借助电梯进行救援。所有各类电梯不论其自动化程度如何，速度快慢，适应消防专用控制的要求是一样的。较常见的形式是在大楼的底层（或基站）设置供发生火警时用的带玻璃窗的专用消防开关盒。发生火警时，击碎玻璃窗，扳动盒内开关，则电梯进入消防状态。

消防控制的基本要求如下：

①切除原来已经登记的轿内指令和厅外召唤信号。

②正在向上的电梯立即停车（对于  $v \leq 1\text{m/s}$  的电梯）或立即制动减速就近停车（对于  $v \geq 1\text{m/s}$  的电梯）。

③在上述情况下，电梯停车不开门，直驶向底层（或基站）；到达底层停车后，电梯再开门。

④正在下行的电梯接到消防命令后不再停车，直接驶向底层（或基站）。

⑤当电梯返回底层后电梯只响应轿内指令信号，不应答厅外召唤信号，而且一次只能有一个轿内指令，不能进行多指令登记。

⑥必须撤按关门按钮才能关门。在门全部关闭前，松开

关门按钮电梯立即开门,且安全触板、光电保护等不起作用。

⑦当电梯到达某层停车后,不自动开门,需连续掀按开门按钮方能开门,此间若松开开门按钮则立即自动关门。

⑧消防紧急运行应在各类重要安全保护环节均正常有效的情况下进行。

同其他控制环节一样,消防控制的实现线路也因电梯类型而异,但其逻辑控制原理是一致的。图 6.3-22 (a)、(b) 是用有触点方式实现消防控制的简化线路图,其中 KXFY 为消防运行继电器,由消防开关 SXF 控制,KZY 为消防员专用继电器,受 SXF、SZY (消防专用钥匙开关)、KJZ (基站继电器触点) 共同控制,即在消防状态下,电梯回到基站后,用 SZY 可使 KZY 吸合。当由 SXF 发出消防命令后,KXFY 吸合。KXFY 触点断开已登记的所有轿内外指令,强迫电梯选择基站停靠,电梯在任何楼层停靠时不能开门,只有到达基站后,在 KZY、KJZ 作用下才会自动开门。如果在出现消防命令 SXF 时电梯正处于开门状态,则 KXFY 触点动作会使电梯立刻强迫关门。KXFY 的作用是在无司机状态下切断自动延时关门的控制线路,使电梯在消防时只能手动关门。当电梯在消防状态下返回基站后,KZY 吸合,其触点 KZY 自锁。

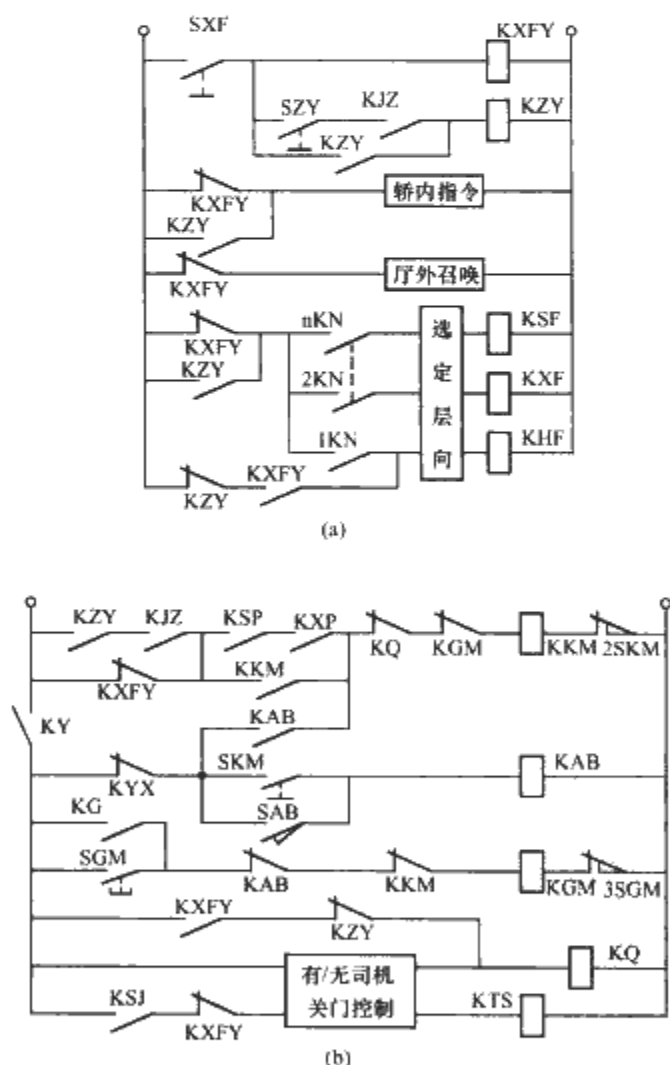


图 6.3-22 消防控制的简化原理线路图  
(a) 消防返回基站控制线路; (b) 消防状态时门的控制线路图

### 3.2 两台电梯的并联控制功能

电梯并联控制是电梯群控最简单的形式,其最直观的感觉是两台电梯并排设置且共同享受各个层楼的同一个外呼信号,并能按预定的规律进行各电梯间的自动调度工作。

#### (1) 调度原则

1) 正常情况下,一台电梯在底层(基站)待命,另一台电梯停留在最后停靠的层站,此梯常称“自由梯”(或称“忙梯”)。当某层站有召唤信号时,则“忙梯”立即定向运到接该层站服务。

2) 当两台电梯因轿内指令而到达基站后关门待命时,则应执行“先到先行”的原则。例如,A 梯先到基站而 B 梯后到,则经一定延时后,A 梯立即起动运行至预先指定的中间层站待命,因此成为“自由梯”。而 B 梯则成为基站梯。

3) 当 A 梯正在上行时,如其上方出现任何方向的召唤信号或是其下方出现向下的召唤信号,则均由 A 梯的一周行程中去完成,而 B 梯留在基站不予应答运行。但如在 A 梯的下方出现向上召唤信号,则在基站的 B 梯应答信号而发车上行接客,此时 B 台梯也成为“忙梯”。

4) 如当 A 梯正在向下运行时,其上方出现任何向上或向下召唤信号,则在基站的 B 梯应答信号而发车上行接客。但如 A 梯下方出现任何方向的召唤信号,则 B 梯不予应答而由 A 梯去完成。

5) 如当 A 梯正在运行,其他各层站的厅外召唤信号又很多。但在基站的 B 梯又不具备发车条件,并且在 30~60s 后召唤信号仍存在,则通过延误发车时间继电器而令 B 梯发车运行。同样原理,如本应 A 梯应答厅外召唤信号而运行,但由于电梯门锁等故障而不能运行时,则也经 30~60s 的延误时间后而令 B 梯(“基站梯”)发车运行。上述的发车调度原则示意图如图 6.3-23 所示。

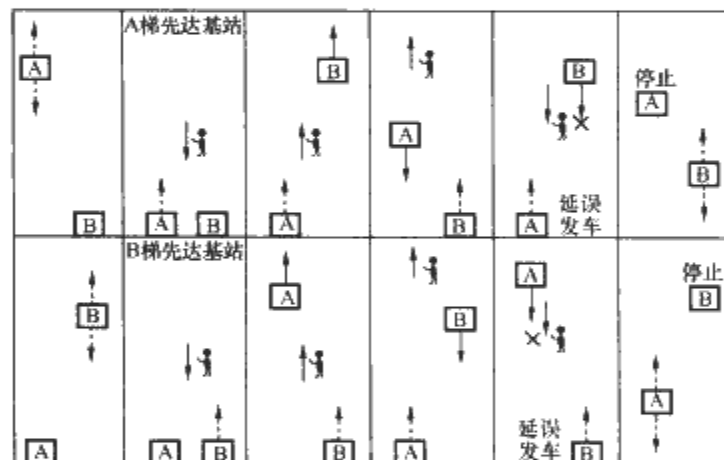


图 6.3-23 两台电梯的并联控制调度原则示意图  
→ 正在运行; -- 准备运行

#### (2) 典型逻辑控制线路

一般情况下,当两台电梯并联运行时,它们应该共享外召信号。如果两部电梯的井道在大厅的同一侧,就只设一组公共的外召唤按钮,即使 A、B 梯各设一组按钮,其召唤信号也是共用的。图 6.3-24 为第  $i$  层上召唤线路,当第  $i$  层有上召时,A、B 梯的上召继电器  $iKSZA$ 、 $iKSZB$  同时吸合;若 A (或 B) 梯上召信号, $iKSZ(A)$  (或  $iKSZ(B)$ ) 释放,则 B (或 A) 梯的  $iKSZ(B)$  (或  $iKSZ(A)$ ) 也释放。

根据电梯并联控制的调度原则,可通过利用调配继电器

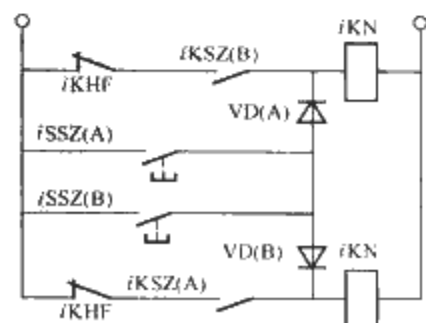


图 6.3-24 并联梯共享外召信号线路图

KDP(A、B)及并联援助继电器 KYZ 触点在 A、B 梯的定向选层控制线路增加相应的逻辑单元便可实现。其典型控制线路(以 4 层为例),如图 6.3-25 和图 6.3-26 所示。

图 6.3-25 为定向选层控制线路,其中  $i$ KSZ、 $i$ KXZ 是上、下召唤信号, $i$ KHF 是第  $i$  层的楼层信号,KXF(A)是 A 梯上、下方向继电器,K12 是起动继电器,其选向原理已介绍过,这里只是增加了 A 梯的调配继电器 KDP(A)及并联援助继电器 KYZ 触点。

图 6.3-26 为并联调配控制线路,A、B 两梯的此部分相同。中 KSY(B)为上方有召唤继电器,当 B 梯上方任一层有召唤时 KSY(B)均会吸合。KXYS(B)为下方有上召唤继电器,当 B 梯下方任一层有召唤时,KXYS(B)均会吸合,KZH(B)为召唤继电器,只要任一层有召唤,KZH(B)都会断电释放。KDP(A)为 A 梯调配断电器,只要它吸合,从图 6.3-25 可见,A 梯选向回路就可接通,A 梯将会按所选的方向运行。其调度原理读者自行分析。

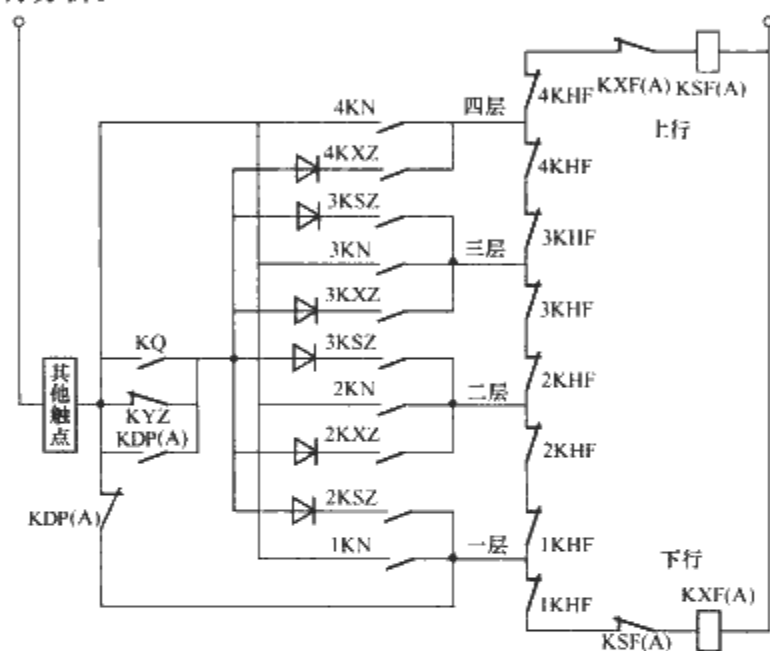


图 6.3-25 并联梯定向控制线路

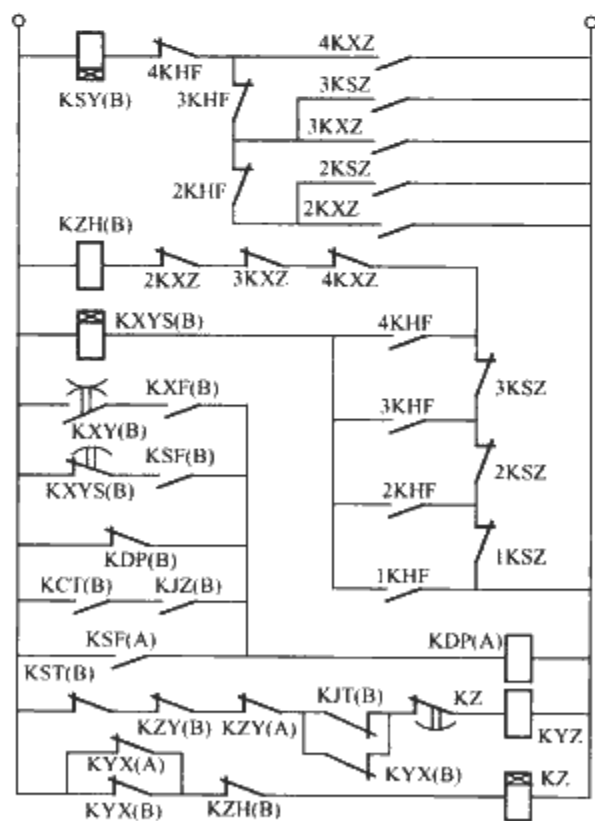


图 6.3-26 并联梯调度控制线路

应当指出的是,KZY 遇到下列情况下也会释放:①B

梯在基站锁梯,锁梯继电器 KST(B)吸合;②B 梯或 A 梯置于专用状态,相应继电器 KZY(B)或 KZY(A)吸合;③B 梯在运行中[运行继电器 JYX(B)吸合]按下急停按钮[急停继电器 KJT(B)吸合]。这种情况下,由于 A 梯的选向回路也会接通,A 梯也将响应外召唤而运行,但它不是作为 B 梯的援助,而是独立运行。

### 3.3 群控电梯的控制功能

当同一建筑物内设置三台以上电梯且位置比较集中时,就构成了电梯群。为了提高电梯的输送效率和充分满足楼内客流量的需要,以及尽可能的缩短乘客的候梯时间,把多台电梯组合成电梯群,并加以自动控制和自动调度,梯群的自动程序控制系统常简称为群控。群控系统能提供各种工作程序或随机程序(或称无程序)来满足高级大型宾馆、写字楼内客流剧烈变化的各种客流状态。

电梯群控系统按当今的技术水平通常有四程序、六程序和无程序(即随机程序)的工作状态。

#### (1) 调度原则

1) 固定程序的调度原则。这种群控方式是根据建筑物内客流变化情况,把电梯群的工作状态分为几种固定的模式,每一种模式都针对一个交通特征,并有各自的调度原则。典型的六程序如下:

- ①上行客流高峰程序。
- ②下行客流高峰程序。
- ③客流平衡程序。
- ④空闲程序。
- ⑤上行客流较大程序。
- ⑥下行客流较大程序。

通过自动的或人为的选择最适宜的工作程序,可以使乘客候梯时间明显减少。但其缺点是容易造成电梯空跑,对节能不利,而且需要对交通繁忙情况进行分析,因此当客流量变化时,程序的转换有时不能很好地适应当时的交通情况。

#### 2) 分区调度原则。

①固定分区调配就是按电梯台数和建筑物层数分成相应的运行区域,当无召唤时,各台电梯停靠在自己所服务区域的首层。图 6.3-27(a)是服务于 15 层楼的 3 台群控梯的分区示意图的动态分区调配。由图可见,无呼梯时,A、B、C 梯分别停在 1、6、11 层待命;当某个区域中有呼梯信号时,由该区域的电梯进行响应。电梯 A、B、C 所服务的区域并非固定不变,而是根据召唤信号的不同,每台电梯的服务区域可随时调整。如 C 梯因轿内指令离开第三分区,而 B 梯又因轿内指令进入第三分区,则 B 梯就成为第三分区的区域梯。C 梯服务完后则回到第一分区待命。总之,每台电梯可自动寻找没有区域梯的空区。

②动态分区调配是按一定顺序把电梯的服务区域接成环形。图 6.3-27(b)、(c)是 15 层 3 台群控梯的动态分区示意图。在某一空闲时刻的分区为:1~7 层为 A 梯的上召唤服务区;8~13 层为 B 梯的上召唤服务区;14~15 层为 C 梯的上召唤服务区;同时,C 梯又担负着 15~8 层的下召唤服务,而 7~2 层又为 B 梯的下召唤服务区,如图 6.3-27(b)所示。当电梯运行后,每台电梯的服务区域随电梯的位置及运行方向作瞬时变化。例如当某时刻,A、B 梯均向上运行。此时,区域分配为 1~7 层为 A 梯上召服务区;8~15 层为 B 梯上召服务区;15~13 层为 B 梯下召服务区;12~8 层为 C 梯下召服务区;7~1 层为 A 梯下召服务区。如图 6.3-27(c)所示。

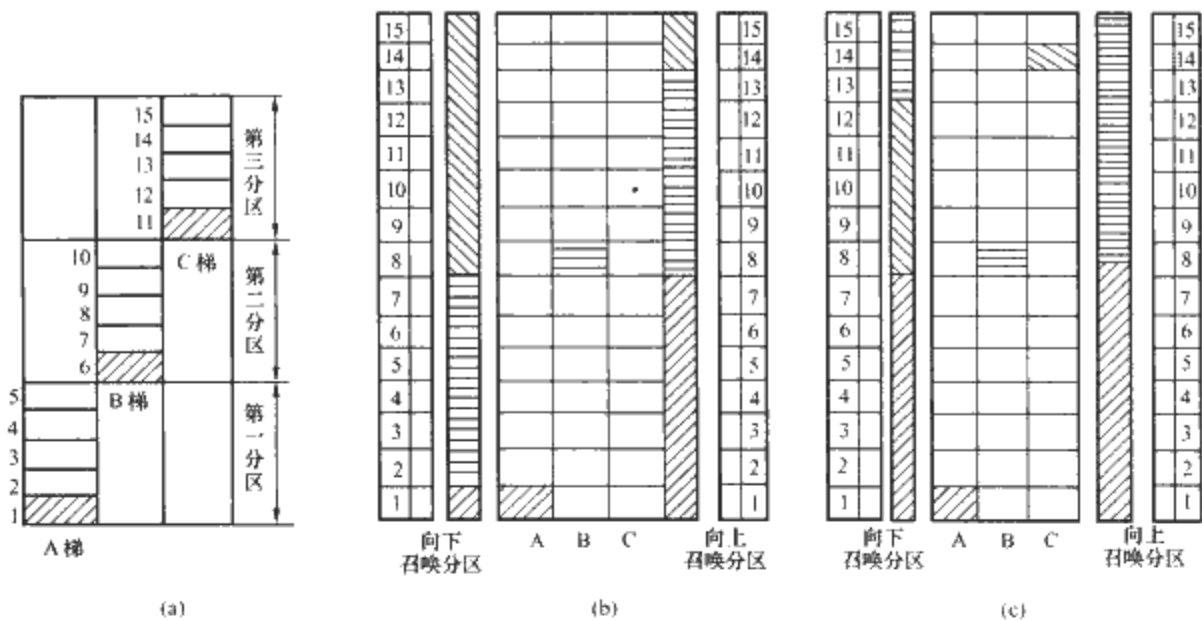


图 6.3-27 分区调度原则示意图  
(a) 固定分区示意图；(b) 空闲时的区域分配；(c) 运行后的区域分配

3) 综合成本调度原则。综合成本的含义是电梯轿厢中乘客的数量与电梯从一层到另一层之间运行时间的乘积，简称人·s，它综合反映了电梯运行的“成本”，对电梯运行的时间、效率、耗能及乘客心理等多种因数给以兼顾，体现了一定的整体优化意义。为说明综合成本的概念及控调度特点，下面举例说明。

设建筑物共 10 层，地下一层，设有 4 台速度为 2.5m/s 的电梯（A、B、C、D），各梯的瞬时位置如图 6.3-28 所示。每台电梯轿厢中的人数及运行到五层所需的时间已在图中标出。设五层有呼梯信号，为了合理地分配应召电梯，计算每台电梯的综合成本为

$$\begin{aligned} Q_A &= 1 \text{ 人} \times 10 \text{ s} = 10 \text{ 人} \cdot \text{s} \\ Q_B &= 10 \text{ 人} \times 3 \text{ s} = 30 \text{ 人} \cdot \text{s} \\ Q_C &= 8 \text{ 人} \times 5 \text{ s} = 40 \text{ 人} \cdot \text{s} \\ Q_D &= 12 \text{ 人} \times 1 \text{ s} = 12 \text{ 人} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

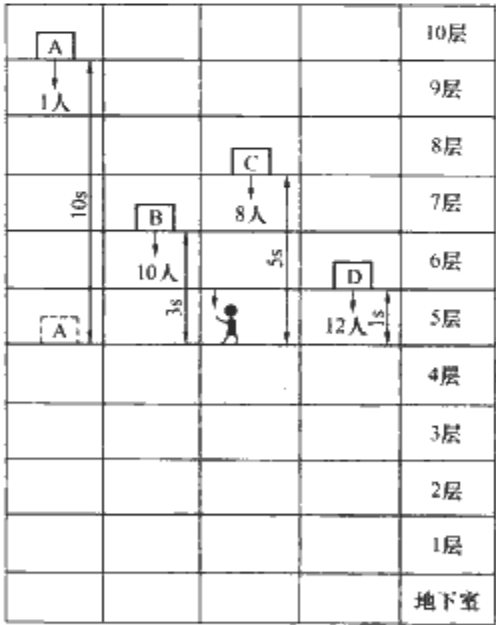


图 6.3-28 综合成本调度原则示意图

由图 6.3-28 和综合成本  $Q_A \sim Q_D$  报价（对于 5 层的召唤来说）可见，虽然 A 梯距 5 层最远，但它运行到 5 层所需要的“成本”最低，而 D 梯虽然距五层最近，但为了响应五层的召唤，轿内的 2 人都必须在五层逗留，使乘客心理产生反感，同时因轿厢重载，使起动、制动的耗能增加，显然若将此召唤分配给 D 梯则“成本”很高。因此按综合成本考虑，应将应召电梯分配给 A 梯，而不是单纯追求较短的

候梯时间把外召分配给 D 梯。

(2) 一般实现方法

现代电梯的群控系统一般都用计算机技术实现，各种不同电梯产品的计算机群控系统在硬、软件的设计上有具体的差别，但主要组成形式是基本相似的，即专设一台高性能的微机用于实现对电梯群的控制与监视，它与各单部电梯用于信号采集与管理控制的计算机进行通信，从而构成完整的电梯监视管理系统。监控微机与各单部电梯的计算机之间采用串行通信交换信息，而每台电梯本身也采用主、副微机结构，主微机用于电梯的管理控制，副微机用于拖动控制。电梯群的计算机监控系统是一个主从分布式计算机网络。一般而言，主机与从机是性能、型号不同的异型机，例如主机可用 IBM-PC 系列微机，而从机用 MCS-51 或 96 系列单片机。由于不同微机的串行通信接口特点不同，因此在系统的设计中应特别注意主、从机之间实现可靠通信的问题。

4 电梯、自动扶梯的安装、调试和验收

4.1 电梯的安装

电梯作为高楼大厦中的垂直运输工具，其重要性是不言而喻的。因为电梯不像汽车（水平运输工具）是整机出厂，其质量在厂内就可得到控制。电梯是在现场安装、调试、验收合格后交付用户使用，所以电梯产品的质量不仅取决于零部件的质量，也取决于现场安装的质量。大量实例说明，电梯安装质量的好坏直接影响到电梯投入使用后效果的好坏，以及电梯使用寿命的长短。目前，我国判定电梯安装质量的主要依据是《电梯安装验收规范》（GB 10060--1993）和《电梯工程施工质量验收规范》（GB 50310—2002），而对于电梯安装工艺并没有统一要求。由于各电梯厂家的产品各异，所以安装工艺有所不同。但机械部分的安装基本一致，主要区别是在电气控制部分。

4.1.1 电梯安装前的准备工作

(1) 施工现场的检查及安全教育

1) 准备并检查工具，如吊索、滑轮、脚手板等应无损伤；配电板、各种电动工具等应无漏电、破损，完全符合安全要求；各种测量工具符合标准，测量准确，指示正确；劳保保护具准备齐全，如工作服、安全帽、工作鞋、安全带等。

2) 仓库内应保持干燥并可以上锁，且有照明灯，必要时可以通暖气。

- 3) 检查堆放较大电梯零部件的堆货场, 场地应该保持干燥, 有防雨水、防气候影响等防护措施。
- 4) 检查井道和机房是否符合电梯安装规程中的各项规定。
- 5) 安装时, 施工人员必须严格遵守《安全操作规程》和有关规章制度, 如电气焊、起重、喷灯、带电作业规程等; 且应在各层门口和其他能进入井道口处, 设置明显的警告标志和有效的护板或护栅以防止发生人员坠井事故。

(2) 劳动力的组织

一般由 4~6 人组成电梯安装小组, 工地安装负责人应与使用单位商量, 提供一定数量的起重工、脚手架工、木工、泥石工等, 根据安装进度进行配合。人员组织好后应编制施工进度表 (电梯安装项目为纵轴, 安装时间为横轴)。

(3) 工具准备

应准备的各项工具, 见表 6.3-2。

表 6.3-2 安装电梯常用工具

序 号	名 称	规 格
1	套筒扳手	
2	活动扳手 (mm)	150、250
3	管子钳 (mm)	30
4	管子铰板 (mm)	12、50
5	管子台虎钳 (mm)	50
6	尖嘴钳 (mm)	150
7	斜嘴钳 (mm)	150
8	剥线钳	
9	吊线锤 (kg)	10、15
10	C 型轧头 (mm)	50、100
11	扁凿	26
12	角尺 (mm)	100、300
13	厚薄规	28
14	钢卷尺 (m)	2、30
15	钢直尺 (mm)	300、1000
16	液压千斤顶 (t)	5
17	手拉葫芦 (t)	3
18	万用表	
19	绝缘电阻表	电池式 (不准用手摇式)
20	转速表	
21	钢锯架	
22	一字槽螺钉旋具 (mm)	50、150、300
23	十字槽螺钉旋具 (mm)	100
24	整形锉	
25	锉刀	板、圆、半圆
26	奶子锤 (kg)	1、2
27	木锤	
28	电钻 (mm)	6~18
29	电烙铁 (W)	75
30	电工刀	

(4) 电梯安装工艺流程

电梯安装进度视所安装电梯梯型、层站数、控制方式等不同而异。现代电梯是典型的机电一体化产品, 对施工人员的要求也趋向于一专多能, 其安装进度由安装队长制定。图

6.3-29 所示为一般电梯安装工艺流程, 通常机械与电气部分可采用平行作业方式同时进行安装。

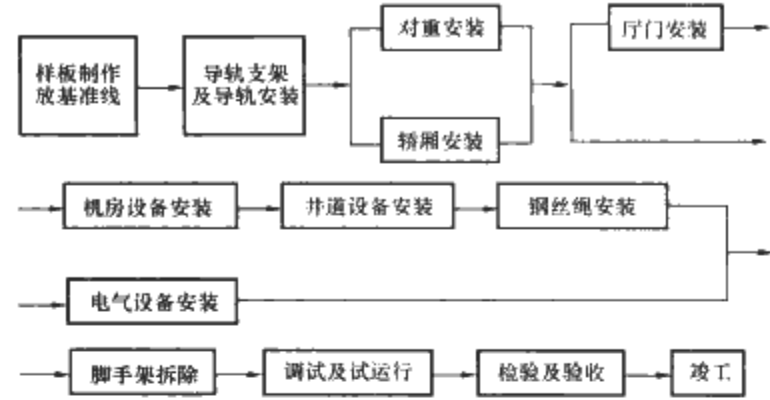


图 6.3-29 电梯安装工艺流程图

4.1.2 电梯机械设备的安装工作

(1) 搭设脚手架

电梯的安装分有脚手架安装和无脚手架安装两种安装方法。目前国内多采用脚手架安装方法, 也有采用升降平台或利用轿厢架、轿厢底盘做垂直升降架安装导轨。升降机的动力采用曳引机或卷扬机并通以临时电源, 由升降机平台上的安装人员操纵升降。

1) 脚手架的形式与位置。根据对重布置的位置, 脚手架分为对重在轿厢侧面两种架设形式和对重在轿厢后面的脚手架结构形式。

2) 搭脚手架的要求。搭脚手架应由专业人员进行, 电梯安装负责人应向架子工交代架设要求, 脚手架搭完经双方现场交验后方可使用。搭设脚手架时, 首先应将井道清理干净。脚手架用料有杉木、楠竹和钢管三种。用杉木、楠竹搭脚手架时, 必须做好防火措施; 用钢管搭脚手架时, 应将钢管做良好的接地, 以防止临时用电线路或设备漏电造成人身触电。在搭设脚手架时应做到:

①搭设的脚手架不影响导轨架、导轨的安装, 不影响放线和其他安装工作时的通路。

②脚手架的承载能力不得小于 250MPa。安装载重量在 3000kg 以下电梯的脚手架可以采用单井字式。

③在顶层高度内架设脚手架应使用短立柱, 以便在安装轿厢时拆除。

④在每层楼的脚手架横梁上, 应铺设两块或两块以上的脚手板; 各层应交叉排列, 脚手板伸出横梁 0.15~0.20m。若采用竹制脚手架, 应在各层横梁上铺满竹笆。脚手板与竹笆的两端应与横梁绑扎牢固。

⑤木制脚手架横梁的间隔应小于 1.2m, 层门入口处的脚手架横梁应按要求架设。

(2) 样板架的制作、固定与放线

1) 样板架的制作。制作样板架的木料应干燥、不变形, 且四面刨平互成直角, 其断面尺寸见表 6.3-3。

表 6.3-3 样板架木料尺寸

电梯提升高度 (m)	宽度 (mm)	厚度 (mm)
≤20	80	40
>20	100	50

样板架制作尺寸应准确, 位置尺寸误差为 ±0.15mm。在样板架上应标明轿厢中心线、对重中心线、导轨中心线、层门中心线、轿厢门中心线、层门净宽、轿厢门净宽等名称, 以便于安装。

2) 样板架的安置。在机房楼板下面约 800mm 左右的井



道墙壁上,平行地凿出4个面积 $150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 、深 $200\text{mm}$ 的孔洞,用两根截面大于 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 刨平的木梁放入孔洞中,用以托住样板架,两根木梁应水平并平行,用水平仪校正后固定好。其安置应符合如下要求:

①按照整个井道高度垂直的最小有效的净空面积来安置。

②水平度应小于 $5\text{mm}$ 。

③在底坑距离地面 $0.8\sim 1.0\text{m}$ 高度处,放置一个与井道上样板架一样的下样板架,用以稳定铅垂线,防止其晃动。

3) 悬挂铅垂线。在样板架上有铅垂线标记的地方,用直径 $0.71\sim 0.91\text{mm}$ 镀锌铁丝,放垂线至底坑,垂线端部坠以 $5\text{kg}$ 重的线坠,将铅丝拉直。

4) 稳固铅垂线。铅垂线放稳定以后,确定好位置,用

U型钉将铅垂线固定在下样板架的木梁上。随着科学技术的发展,我国已将激光技术应用于电梯安装中的测距定位,在提高工程质量、加快施工进度方面取得了良好的效果。

### (3) 导轨支架及导轨的安装

导轨支架及导轨是电梯导向系统的组成部分,是整个电梯安装电梯安装中的一个重要环节,这一环节中的误差必将造成轿厢运行中的噪声、冲击、振动,该工序是电梯安装中质量控制的关键过程。

其工艺流程为:确定导轨支架位置→安装导轨支架→安装导轨→调整导轨。

1) 导轨支架的安装。将与墙壁相连的角铁根据沿线垂直度调到 $X$ 尺寸,并用螺栓拧紧;将连接角铁根据沿线垂直度调到 $Y$ 尺寸,并用螺栓紧固,要尽量保证平行度的要求,如图6.3-30(a)、(b)所示。

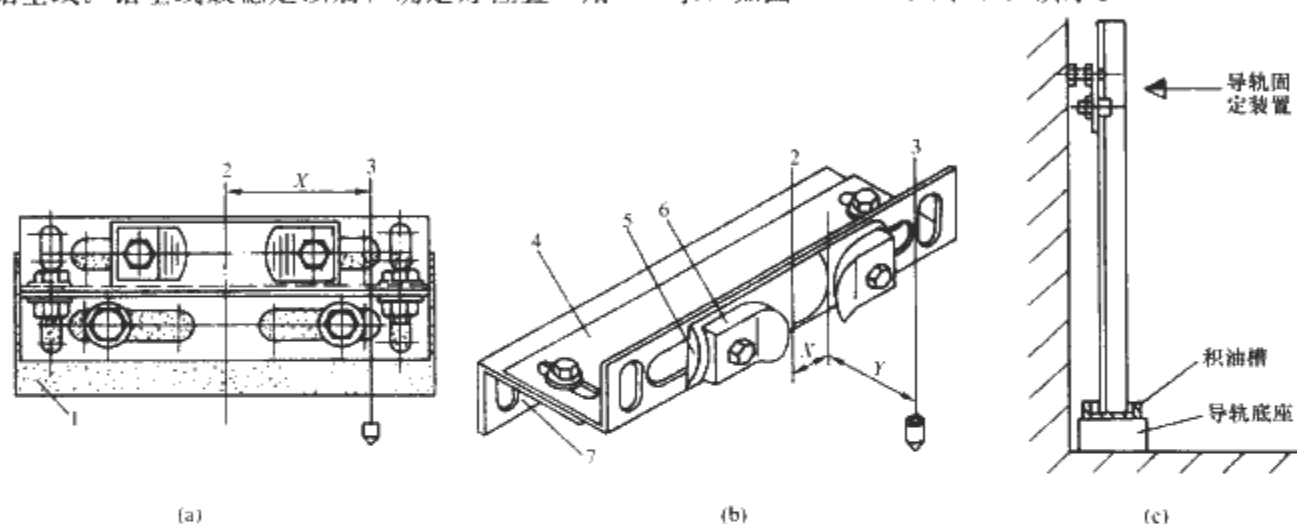


图 6.3-30 导轨及导轨支架的固定图

(a)  $X$ 尺寸; (b)  $Y$ 尺寸; (c) 导轨底部固定

1—墙壁固定板的表面; 2—导轨中心线; 3—铅垂线; 4—导轨托架;

5—半圆状背衬; 6—压导板; 7—墙壁托架

2) 导轨的固定。将第一对导轨竖立在地面坚固的导轨座上,松开支架上导轨压导板上的螺栓,并旋转 $90^\circ$ ,以便能将导轨铺设在两个压导板之间,并顶着半圆状背衬,然后将压导板重新放置在它们通常安装的位置上,并用手将螺栓初步拧紧,如图6.3-30(c)所示。其他每节导轨的安装、校正和临时固定都按上述方法依次类推。

3) 导轨的连接。导轨与导轨之间的连接采用接导板进行连接,其端部通过凹凸榫头定位。井道两侧的导轨连接处应相互错开,不应在同一水平位置。

4) 导轨的校正。当导轨临时固定后应进行校正,以保证电梯的良好运行。根据导轨和固定铅垂线的距离 $X$ ,用角尺测量并校正;接下来制作一块校正卡板,然后自上而下进行测量校正导轨间距和面平行度。当两列导轨侧面平行时,卡板两端的箭头应准确地指向校正卡板的中心线。

### (4) 承重梁的安装

目前电梯机房有上置式机房、下置式机房和特殊要求的侧置式机房,还有直接将曳引机安装在井道壁上的无机房电梯等多种形式。因此承重梁根据机房位置的不同,额载能力的大小,其形式和钢材要求也有很大差异。承重梁是承载电梯全部动载和静载的重要机件。因此承重梁必须按电梯厂家的文件要求选材,安装形式和位置应符合设计要求,并应符合下列规定:

1) 承重钢梁的两端应平压在电梯井道承重墙上,其埋入深度应超过墙厚中心 $20\text{mm}$ ,且应不小于 $75\text{mm}$ (如果承重墙是砖墙,则应在梁下垫上钢筋混凝土)。

2) 每一根承重钢梁水平度应小于 $0.05\%$ 。相邻两根承重梁的高度允许误差应小于 $0.5\text{mm}$ 。

### (5) 曳引机及导向轮的安装

1) 曳引机的安装。目前曳引机大都先安装在机架上,再整体于机房的承重结构上。机架由槽钢或钢板弯折焊接而成,由制造厂与曳引机整体提供。现在很多生产厂家将导向轮也安装在曳引机和机架上,使曳引机和机架的组合物在运转时只有垂直方向上的外力而没有水平方向上的外力。在安装时只需进行垂直方向的防振连接,而无须对其进行水平方向的约束。安装简单,校正方便,且运行质量高。如果导向轮和曳引机不是安装在同一机架上,则曳引机架必须固定,以防止曳引机在水平方向上位移。为了减小振动噪音,固定时可垫防震垫。

2) 导向轮的安装。在机房楼板上或承重梁上,对准井道内上样板架上标注的对重中心点,悬挂一铅垂线。在这条垂线两侧以导向轮的宽度为间距,悬挂两条辅助铅垂线,用以校正导向轮水平方向偏摆。

校正后的导向轮应达到:

①导向轮铅垂度偏差应不大于 $0.5\text{mm}$ 。

②导向轮端面与曳引轮端面的不平行度,应不大于 $\pm 1\text{mm}$ 。

③导向轮位置偏差前、后方向应不超过 $\pm 3\text{mm}$ ,左、右方向应不超过 $\pm 1\text{mm}$ 。

当不设导向轮时,曳引轮中心至轿厢架中心线和对重中心线的距离应相近似。



### 3) 曳引机与导向轮的安装要求:

①曳引轮的位置偏差在前后方向(向着对重方向)不超过 $\pm 2\text{mm}$ ,左右方向不超过 $\pm 1\text{mm}$ ;导向轮的位置偏差前后方向不超过 $\pm 3\text{mm}$ ,左右方向不超过 $\pm 1\text{mm}$ 。

②曳引轮、导向轮铅垂度偏差在空载或满载工况下应不大于 $0.5\text{mm}$ 。

③曳引轮与导向轮的平行度应不大于 $1\text{mm}$ 。

④曳引机旋转部件的上方应有不小于 $0.3\text{m}$ 垂直净空距离。

⑤不得缩小曳引轮与导向轮在垂直方向上的相对距离,应确保曳引绳在曳引轮上的包角足够大。

图 6.3-31 为曳引机及导向轮的安装示意图。

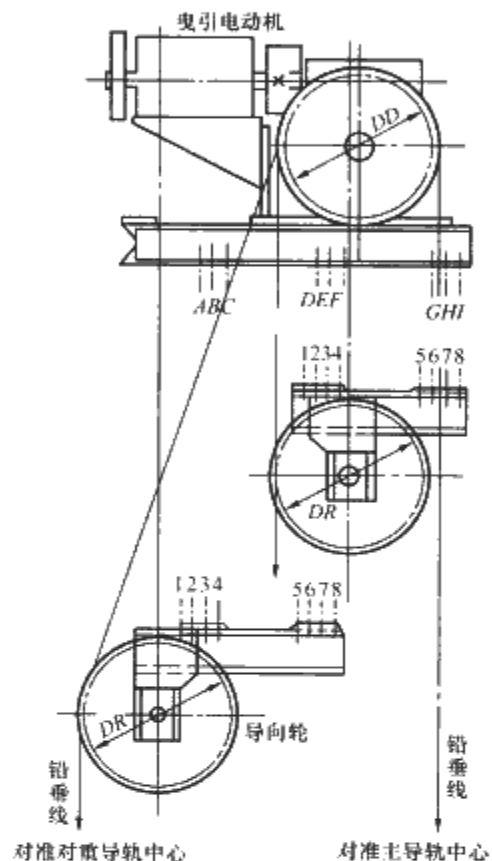


图 6.3-31 曳引机及导向轮的安装示意图

### (6) 缓冲器和对重装置的安装

1) 缓冲器的安装。弹簧缓冲器和油压缓冲器虽然在结构和性能上有所不同,但其安装要求基本相同。

电梯由于控制失灵、曳引力不足或制动失灵等原因发生轿厢或对重蹲底时,缓冲器将吸收轿厢或对重的动能,提供最后的保护。缓冲器分蓄能型缓冲器和耗能型缓冲器。蓄能型缓冲器只能用于额定速度不超过 $1.0\text{m/s}$ 的电梯,耗能型缓冲器能用于任何速度的电梯。缓冲器的选型应根据电梯的运行速度和轿厢质量与额定载荷重量之和确定。

①缓冲器安装在底坑的槽钢上或混凝土基础上,具体位置和强度应根据设计要求施工。若底坑下方确有人能到达的空间存在,则对重也应设安全钳,或将对重缓冲器安装在一直延伸到坚固地面上的实心桩墩上。

②油压缓冲器柱塞的铅垂度应不大于 $0.5\%$ 。缓冲器中心与轿厢或对重相对碰板中心的偏差应不超过 $20\text{mm}$ ,两个缓冲器间的顶面高度差应不超过 $2\text{mm}$ 。蓄能型缓冲器其缓冲距离为 $200\sim 350\text{mm}$ ,耗能型为 $150\sim 400\text{mm}$ 。

③当轿厢完全压实在缓冲器上时,底坑的安全距离即轿厢最低部分与地面的净空距离应不小于 $500\text{mm}$ 。

图 6.3-32 为缓冲器的安装示意图。

2) 对重的安装。对重的安装一般在井道底部进行。为

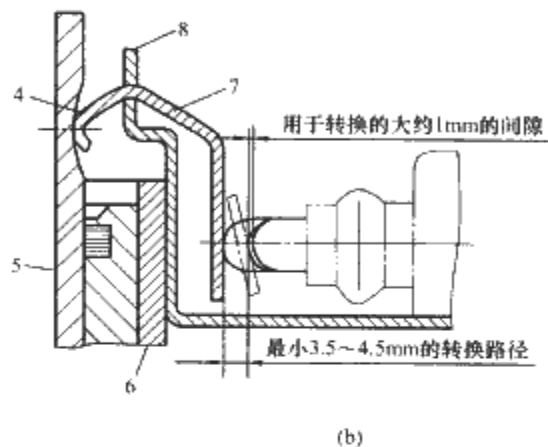
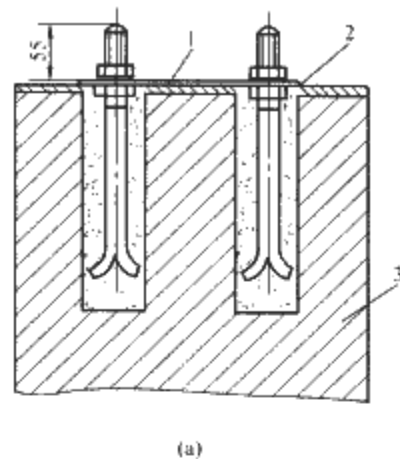


图 6.3-32 缓冲器的安装示意图

(a) 缓冲器柱底安装; (b) 缓冲器触点安装

1—灌注混凝土的开口; 2—柱底板; 3—柱基础;

4—触点槽; 5—柱塞; 6—压力缸; 7—操作托架;

8—触点支架

便于安装首先将对重架一侧的上下导靴或靴衬拆下,用手拉葫芦吊起对重架,放入两列对重导靴中,在距缓冲器合适的距离处,用方木垫实,装上拆下的导靴或靴衬,调整好导靴间隙。加入对重块可在连接好曳引绳后进行。对重侧总重为轿厢自重加 $40\%\sim 50\%$ 额定载荷,经测算对重侧重量符合要求后,在对重块上加压紧装置,以防止对重块脱出。对重侧应有护栏。图 6.3-33 为缓冲器的安装示意图。

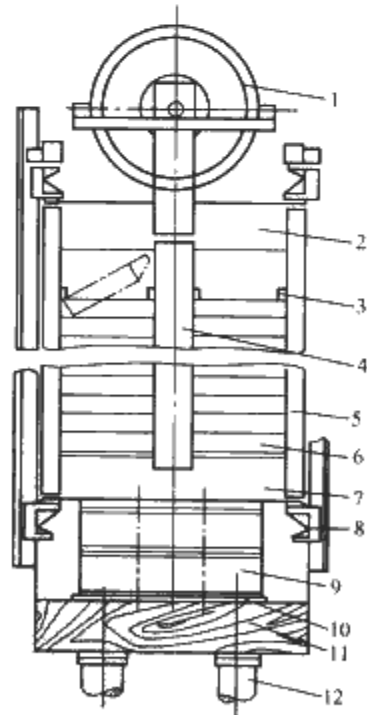


图 6.3-33 对重的安装示意图

1—反向滑轮; 2—上横梁; 3—防跳安全件; 4—中间立柱;

5—U形槽钢立柱; 6—充填式重块; 7—下横梁; 8—导

靴; 9—缓冲器基座H形槽钢; 10—缓冲器撞板;

11—填木; 12—缓冲器

(7) 轿厢的安装

一般情况下轿厢应在井道最高层内安装。在轿厢架进入井道前，应先将井道中顶层以上的脚手架拆除（保留样板架），在顶层层门口对面的井道墙上凿两个约 250mm×250mm 的洞，在层门口与凿好的洞之间放置两根不小于 200mm×200mm 的方木或具有一定承载能力的钢梁作为支撑横梁。方木或钢梁应平行，上水平面应在同一水平面上，且固定牢靠。在轿厢架中心点的位置，通过机房楼板曳引钢丝绳孔，悬挂一只手动葫芦，以便吊装之用。手动葫芦的选择，可视被吊最大机件的重量决定。

把轿厢下梁放在支撑横梁上，找正找平，其不水平度不应超过 2%。并使导轨端面与安全钳座间的距离两端一致后稳固。把轿厢固定底盘放在下梁上，用四组垫木垫好并校正，其平面的不水平度不应超过 2%。将两侧立柱与下梁、轿底用螺丝连接起来，立柱在整个高度上的铅垂度偏差应不超过 1.5mm。用手动葫芦吊装上梁，将上梁与立柱用螺栓紧固连接，校正立柱的不铅垂度，立柱不应有扭曲的力矩。在立柱上装好限位开关碰铁及其他部件；将安全钳楔块放入安全钳座内，并与联动拉杆相连接；安装好上下导靴。将活动轿厢或活动轿厢底盘准确安放在轿厢架的固定底盘上，垫上减振橡胶垫，将轿厢壁拼装，并与轿底、轿顶用螺栓连接紧固。依据样板架垂下的轿厢门铅垂线，确定轿厢门套立柱的位置和尺寸，安装轿厢门、开门机、安全触板和门刀。

轿厢和轿厢门在组装过程中，一定要边组装边调整、校正，使每一部件的装配都符合下列要求：

- 1) 轿厢与对重之间的间隔距离应不小于 50mm。
- 2) 轿厢门地坎与对应的井道内壁水平距离应不得大于 150mm。
- 3) 轿厢门地坎与层门地坎的水平距离应不大于 35mm。
- 4) 门刀与层门地坎，门锁滚轮与轿厢门地坎的间隙应为 5~10mm。
- 5) 门刀与门锁轮的啮合深度应足够大，不得小于门锁轮厚度。

(8) 层门和门套的安装

从上样板架上标注的层门净宽两侧和中心点处，悬挂铅垂线并固定在下样板架上。用导轨精校板作定位基准校正铅垂线，在各层层门面和立面，刻划上标记线。

用螺栓将地坎与下门框连接起来，将地坎上的标记线对准层门口的铅垂线。定位后用 400 号以上水泥砂浆，把地坎稳固在井道内侧的牛腿上。地坎应高出装饰后的地平面 5~10mm，并抹成 1/100~1/50 的斜坡，以防水流入井道。地坎上表面不水平度应不超过 1%。砂浆注好后阴干 72h，方可进行下道工序。

如果井道没有钢筋混凝土牛腿，应预埋 150mm×300mm×16mm 钢板三块，钢板上焊接一根长度为层门口净宽 2 倍，75mm×75mm 的角钢，再将地坎用螺栓固定在角钢上。

把地坎、左右门柱、上坎用螺栓组装成门框架，将门框架立在地坎上，用地脚螺栓把门框架固定在井道墙壁上。校正框架立柱的不铅垂度和横梁的不水平度均不应超过 0.1%。导轨与地坎槽在导轨中间和两端三个点上的间距，偏差不应大于±1mm。

用层门铅垂线校正门套立柱，用方木或木板加以固定支撑，以防在注水泥砂浆时立柱变形。待水泥浇筑阴干 72h 后，将临时固定支撑木拆掉。

层门地坎和门套的安装尺寸要求、允许偏差和检验方法

应符合表 6.3-4 的规定。

表 6.3-4 层门地坎和门套的安装尺寸要求、允许偏差和检验方法

项次	项 目	允许偏差或尺寸要求	检验方法
1	层门地坎高出最终地面 (mm)	2~5	尺量检查
2	层门地坎水平度	1/1000	尺量检查
3	层门门套垂直度	1/1000	吊线、尺量检查
4	中分式门关闭最大间隙 (mm)	2	尺量检查

(9) 限速器的安装

限速器是限制电梯运行速度的装置，一般安装在机房。限速器的安装通常按照施工图进行，其安装简图如图 6.3-34 所示。安装完应检验其动作的正确性。

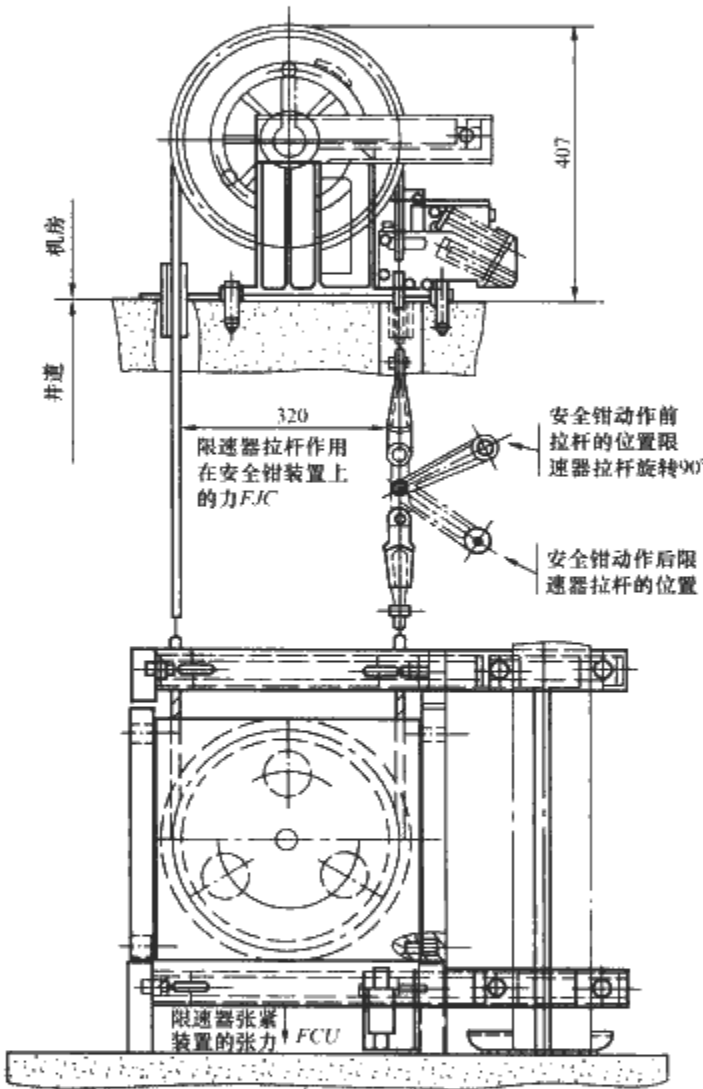


图 6.3-34 限速器的安装简图

限速器的安装位置必须符合设计要求，螺栓与安装面的连接必须牢固可靠，限速器绳轮的垂直度偏差应不大于 0.5mm，安全绳应与导轨平行，轿厢运行时，安全绳不应有刮磨现象；限速器动作时，能保证安全钳可靠提起；张绳轮配重应符合要求，安全绳出现断裂或疲劳伸长时，张绳轮安全开关能可靠动作。在限速器投入使用前，张紧装置必须能够自由运动，限速器钢丝绳应悬挂于两闸瓦中间，不得擦碰闸瓦。

(10) 悬挂钢丝绳

目前，基本不用在现场进行截绳操作，因为运到现场的曳引钢丝绳已由厂家根据电梯提升高度、楼层总高等参数在工厂里事先截好。

当曳引钢丝绳与其固定装置连接好以后，可以挂绳。采用 1:1 传动形式的电梯，曳引绳两端分别与轿厢和对重连

接牢固；采用2:1传动形式的电梯，曳引绳的两端都固定在机房地板或框架上。挂绳时，先将钢丝绳自由悬垂，消除其内应力（避免运行中绳产生扭转），再将钢丝绳一端接在轿厢架上梁的绳头板上，另一端通过曳引轮和导向轮的轮槽，接在对重架上梁的绳头板上。挂绳时要装好弹簧、螺母和销钉。采用2:1传动形式的电梯，钢丝绳一端通过绳头板与机房楼板或框架相固定，另一端通过动滑轮、曳引轮、导向轮（有的没有）与另一端的机房楼板或框架上的绳头板相连接。

曳引钢丝绳挂好后，用手动葫芦将轿厢提升，拆除轿厢架下的支撑横梁和垫木。再将轿厢慢慢往下放，使对重上升，撤下对重下的支撑木。调整钢丝绳锥套上的弹簧螺母，使各曳引绳受力均匀。与此同时，还应检查导轨与导靴的吻合；安全钳与导轨面的距离；轿厢地坎与层门地坎的距离；门刀与地坎、门轮的距离；轿厢的水平度等是否符合要求。最后将绳头板处的绳头夹板上好。

如果电梯提升高度超过30m或运行速度为1.5m/s及以上时，还应装设补偿链或补偿绳。

曳引钢丝绳必须与曳引轮相匹配，符合生产厂设计要求。绳头组合应有出厂合格证明和型式检验证书，曳引绳端部固定必须牢固可靠。

曳引绳的张力应均衡，每根绳的张力与全部绳张力的平均偏差不大于5%。

轿厢左右导靴与对应导轨的吻合应一致，弹性导靴与导轨顶面应有良好的接触。

曳引钢丝绳绳头的制作方法如下：

1) 将钢丝绳的绳头，从钢丝绳锥套孔的小口一头插入，拆开绳头端部的包扎铅丝，在如图6.3-35所示B处的端部截断麻芯。

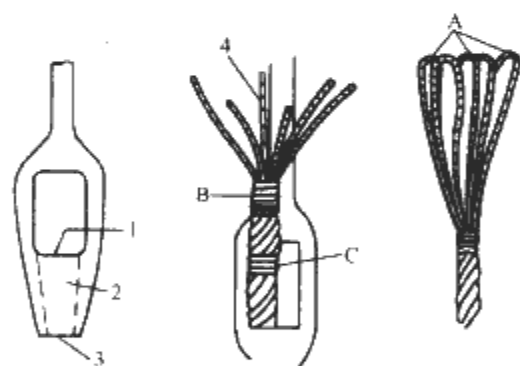


图 6.3-35 绳头制作  
1—大口；2—锥孔；3—小口；4—麻芯

2) 拆开每一根股线，并将附着在钢丝股线上的油污等洗净，然后按照如图6.3-35所示，将各根股线的端头向钢丝绳的中心部分折弯插入。折弯插入部分股线的长度应该为钢丝绳直径的2.5倍以上。

3) 将钢丝绳向小口方向拉，使已被折弯的股线部分缩进大口里面，使各根股线的折弯端部（图6.3-35中A的箭头所指处）缩到与钢丝绳锥套孔的大口拉平或者稍微露出一些为止。

4) 将巴氏合金加热到400~450℃的溶解温度，然后注入锥套的大口内，直到浇满为止。巴氏合金浇满完毕的状态应该如图6.3-36所示，能够看出菊花图样似的各股折弯部分，锥套的小口一端稍许漏出一些巴氏合金。

#### 4.1.3 电梯电气设备的安装工作

电气装置的安装方式、方法，因电梯类型、井道、机房土建规格等不同，使其安装方式、方法种类很多，但其安装

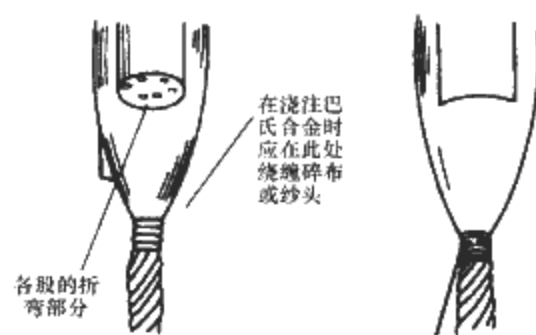


图 6.3-36 绳头浇铸

原理差异不大。电梯各部件的主要电气连接关系如图6.3-37所示。电梯电气装置的安装可与机械装置安装同时进行，但应避免同时进行井道内的垂直作业，并且在全部机械装置安装完毕的同时，电气装置的安装也应全部完工，这样可不影响调试工作的进行。

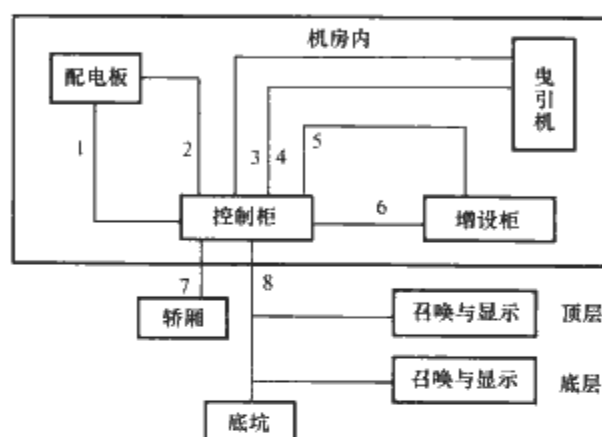


图 6.3-37 电梯主要电气连接关系示意图

1—AC 380V 三相动力电源；2—AC 220V 单相照明；  
3—曳引电动机三相电源；4—编码器脉冲反馈信号；  
5—控制电缆；6—轿厢随动扁电缆；  
7、8—AC36 V 安全照明电源

#### (1) 机房电气设备的安装

机房电气设备包括控制柜、电源总控制盒（配电箱）、信号线和线管、保护接地和保护接零等。

1) 控制柜安装。控制柜由制造厂组装调试后送至安装工地，在现场先作整体定位安装，然后按图纸规定的位置施工布线。如无规定，应按机房面积及型式作合理安排，远离门窗，并考虑维修方便，且必须符合维修方便、巡视安全的原则。控制柜的安装位置应符合以下要求：

- ①控制柜（屏）正面距门、窗不小于600mm。
- ②控制柜（屏）的维修侧距墙不小于600mm。
- ③控制柜（屏）距机械设备不小于500mm。
- ④控制柜（屏）安装后的垂直度不大于0.3%，并应有与机房地面固定的措施。

控制柜的过线盒要按安装图的要求用膨胀螺栓固定在机房地面上。若无控制柜过线盒，则要制作控制柜型钢底座或混凝土底座，基础应高出地面50~100mm。

#### 2) 机房布线。

①电梯动力与控制线路应分离敷设，从进机房电源起零线和接地线应始终分开，接地线的颜色为黄绿双色绝缘电线。除36V及其以下安全电压外的电气设备金属罩壳均应设有易于识别的接地端子，且应有良好的接地。接地线应分别直接接至地线柱上，不得互相串接后再接地。

②线管、线槽的敷设应横平竖直、整齐牢固；线槽内导线总面积不大于线槽净面积的60%；线管内导线总面积不大于管内净面积的40%；软管固定间距不大于1m。端头固定间距不大于0.1m。

③电缆线可通过线槽,从控制柜的后面或前面的引线口把线引入控制柜内。

3) 电源开关。电梯的供电电源应由专用开关单独控制供电。每台电梯分设动力开关和单相照明电源开关。控制轿厢电路电源的开关和控制机房、井道和底坑电路电源的开关应分别设置,各自具有独立保护。同一机房中有几台电梯时,各台电梯主电源开关应易于识别。此外,主开关应安装于机房进门处随手可操作的位置,但应避免雨水和长时间日照。为便于线路维修,单相电源开关一般安装于动力开关旁。要求安装牢固,横平竖直。

#### (2) 电梯井道电气设备的安装

井道内的主要电气设备有电梯外呼、层显控制圆电缆、各种限位开关、井道传感器、底坑电梯停止开关及井道内固定照明等。

1) 以前外呼、层显控制电缆的安装都是走线槽、分支箱再到呼梯口。目前使用的都是可以直接在井道壁上明敷的预制控制电缆,到呼梯口端的电缆已在工厂里做好了插头。所以,现在外呼、层显控制电缆的安装过程是从控制柜内走线槽到井道后改明敷,沿呼梯口侧井壁从顶层明敷到底层。

2) 井道终端开关安装在井道的上、下端站处,由装在轿厢上的撞弓触动,当电梯到达端站超越正常的停站控制位置时,能自动地强迫减速并切断控制电路,使轿厢停止运行。

3) 基站轿厢到位开关采用支架安装于轿厢导轨上,位置比限位开关略高即可。一般装有自动门机的电梯均应设此开关。到位开关的作用是使轿厢未到基站前,基站的层门钥匙开关不起任何作用,只有轿厢到位后钥匙开关才能起闭自动门机,带动轿厢门和层门。

#### 4) 底坑停止开关及井道照明设备安装。

①为保证检修人员进入底坑的安全,必须在底坑中设置电梯停止开关。该开关应设非自动复位装置且有红色标记。安装的位置应是检修人员进入底坑后能方便操作的地方。

②封闭式井道内应设置永久性照明装置。除在井道最高处与最低处0.5m内各装一灯外,中间灯距不超过7m。

5) 松绳及断绳开关安装,限速器钢丝绳或补偿绳长期使用后,可能伸长或断绳,在这种情况下断绳开关应能自动切断控制回路使电梯停止。该开关是与张紧装置联动的。

6) 液压缓冲器开关安装,当轿厢或对重蹲底压到液压缓冲器上时,该开关动作,自动切断控制回路使电梯断电。该开关是与液压缓冲器活塞装置联动的。

7) 随行电缆安装,随行电缆绑扎要符合规范要求。随行电缆有中间接线箱时,中间接线箱的安装位置从井底计算为 $(500 + \text{行程}/2 + 300)$  mm。在井道挂线架上方300mm处,用支架或膨胀螺栓将中间接线箱固定于井壁上。随行电缆的长度应根据中线盒及轿厢底接线盒实际位置,加上两头电缆支架绑扎长度及接线余量确定。保证在轿厢群底或撞顶时不使随缆拉紧,在正常运行时不蹭轿厢和地面;蹲底时随缆距地面100~200mm为宜。

#### (3) 电梯轿厢电气设备的安装

轿厢电气装置有轿顶操纵箱、轿顶平层装置、自动门机、轿内操纵盘和轿顶转接线盒等。

1) 轿顶操纵箱的安装。轿顶操纵箱是机房控制柜的延伸,从机房控制柜引出的随行电缆先经轿底接到轿顶操纵箱上,再由轿顶操纵箱引出自动门机、轿内操纵盘、开关门安全保护装置、安全窗开关、轿顶和轿底灯等的控制线,轿顶

操纵箱本身还装有电梯急停开关、电梯检修开关、220V和36V电源插座等。轿顶操纵箱上的急停开关和检修开关要安装在轿顶防护栏杆的前方,且应处于打开厅门和在轿厢上梁后部任何一处都能操作的位置。

2) 平层装置的安装与调整。有些电梯,其平层装置与以前电梯的平层装置不同,它是将三个感应器组成的开关箱装在轿顶上,将遮磁板装在井道内导轨上。安装后调整的顺序如下:

①把开关箱装在靠上面的梁上且装在中央。

②在安装臂上装支架,但不要拧紧(事先应将板装在支架上)。

③在轿厢平层位置,将安装臂装于导轨上,使DZ感应板的中央与开关箱的基准线基本一致时,固定安装臂。

④精确地调节支架,从而使DZ感应板的中央与开关箱的基准线完全在一条直线上。调节检测器的倾斜度且同时调整感应板。

⑤手动使电梯向下运行,使开关箱脱离感应板,然后拧紧支架和安装臂之间的螺栓。

⑥手动使电梯在该层附近做上、下运行,确认开关与感应板之间的位置,从而确保检测器在感应板插入时,左右间隙相等。

3) 自动门机的安装。一般门电动机、传动机构及控制箱在出厂时都已组合成一体,安装时只要将自动门机安装支架按图纸规定位置固定好就行。目前有部分电梯的门采用全电脑交流变频变压(VVVF)控制技术对门电动机进行调速,速度图形用短路插头设定与调整。用短路插头不但能对速度图形设定和调整,还能对机种(门型号)和进出口宽度(尺寸)、灵敏度等进行设定和调整。门机安装后应动作灵活,运行平稳,门扇运行至端点时应无撞击声。

4) 轿内操纵盘。轿内操纵盘在出厂时已根据订货合同做好,安装时只要将其固定在轿壁上对应位置,把轿顶站引下来的电缆插头和轿内操纵盘上的电缆插座一一对应插好即可。电梯的轿内操纵盘中包括了轿内层楼指示器、指令选层按钮、开关门按钮、运行停止开关、检修开关、照明和风扇开关等控制装置。

#### (4) 接地安全装置的安装

保护接地是把电气设备的金属外壳、框架等用接地装置与大地可靠连接,这一做法适用于电源中性点接地的三相五线制低压供电系统。保护接零是在电源中性点接地的三相四线制低压系统中,把电气设备的金属外壳、框架与中性线相连接。

当电气设备的绝缘电阻损坏,造成设备外壳带电时,接地和接零具有防止人体碰触外壳而发生触电伤亡事故的功能。但是采用保护接地时,接地电阻不得大于 $4\Omega$ ,而且采用保护接零的电气设备不应同时作为保护接地。

电梯的电气设备必须作接地保护。一般情况下电梯本身不单独搞一套接地或接零,而是与本系统电网类型一致。为保障安全,凡36V以上的电梯电气设备,包括曳引机、线槽线管、层门、轿厢、操纵箱(盘)、接线盒、呼梯盒等均必须接地或接零。其接地线必须用不小于 $4\text{mm}^2$ 的黄绿双色铜线或8号铅丝。机房内的接地线必须穿管敷设,与电气设备的连接必须采用线接头,并设有防松脱的弹簧垫圈。井道内的电器部件、接线箱、四路过线盒与电线槽或电线管之间也可用 $4\text{mm}^2$ 的黄绿双色铜线或8号铅丝焊成一体。轿厢的接地线可根据软电缆的结构形式决定,采用钢心支持绳的电缆可利用钢心支持绳作接地线,采用尼龙心的电缆则可把若

干根电缆芯线合股作为接地线,但其截面应不小于 $4\text{mm}^2$ 。

## 4.2 电梯的调试

### (1) 电梯通电调试前应具备的条件

1) 主要的安全部件,如限速器、安全钳等均已安装完毕,且动作有效、可靠。

2) 机房所有电气线路的配置及接线均已完成,各电气部件的金属外壳均有良好的接地装置,且其接地电阻不大于 $4\Omega$ 。

3) 机房内各电气部件的接线经校对正确,接线螺栓均已拧紧且无松动现象。

4) 轿厢的所有电气线路(包括轿厢顶、轿内操纵箱、轿厢底)的配置及接线均已完成。

5) 机房内控制柜与轿厢之间的接线经校对正确,接线螺栓均已拧紧且无松动现象,轿厢内各电气装置的金属外壳均有良好的接地。

6) 机房内控制柜、安全保护开关等与井道内各层楼的召唤按钮箱、门外指示灯、门锁电触点等之间的接线正确性均已检查、校对,确信无疑,接线螺栓均已拧紧且无松动现象。

7) 机房内各电气机械部件、轿厢内的各电气部件、井道各层站的电气部件均处于干燥而无受潮或受水浸湿、浸泡现象。

### (2) 电梯通电调试前应备齐的资料

1) 关于电梯的国家标准、技术监督局对电梯的检测报告书。

2) 电梯电气原理图、符号说明及电气控制原理说明书。

3) 电梯调试说明书。

4) 电梯使用说明书。

### (3) 不悬挂曳引钢丝绳的通电试验

为确保安全,必须进行这一环节的工作,其主要步骤如下:

1) 将原已挂好的曳引钢丝绳按顺序取下,并做顺序标记。

2) 在控制柜的接线端子上用临时线短接门锁电触点回路、限位开关回路,及安全保护触点回路和底层(基站)的电梯投入运行开关触点。

3) 合上总电源开关,检查三相电源的电压与相序是否正确。

4) 检查整流器的输出电压及极性是否正常。

5) 检查安全回路继电器是否已吸合。

6) 用临时线短接控制柜检修开关触点,使电梯处于检修状态。

7) 手按上行方向开车继电器,此时电磁制动器松闸张开,曳引电动机慢速向某一方向旋转,如其转向不是电梯向上运行方向,应调换曳引电动机的电源线顺序,使其转向与电梯上行方向一致,再手按下行方向开车继电器,再次检查曳引电动机转向。

8) 在操作上述步骤的同时,可调整曳引机上电磁制动器闸瓦与鼓轮间的间隙,使其均匀保持在不大于 $0.7\text{mm}$ 的范围。然后测量制动器松开时的电压与维持松开的电压,并调整其维持松开的经济电阻值,使维持松开电压为电源电压的 $60\%\sim 70\%$ 。

9) 恢复前面改动的线路至原状,控制柜上的检修继电器应吸合。如不吸合,应仔细检查直至吸合。

10) 操纵轿内操纵箱上的急停按钮(或轿厢顶检修箱上

的急停开关)时,控制柜中的安全回路继电器应释放。

11) 在轿内操纵箱(或轿顶检修)上,操纵上行(下行)开车按钮,曳引机应按指令方向运转。当上述步骤结束后即可进行下面的调试工作。

### (4) 悬挂曳引钢丝绳后的慢速运行调试

1) 按顺序将曳引钢丝绳放回曳引轮绳槽内。

2) 自上而下拆除井道内的脚手架,并进行井道和导轨的清扫工作。

3) 拆除轿厢与对重下的垫木。

4) 检查并关闭好各个层楼的厅门,防止他人跌入井道。

5) 在轿厢顶的检修箱上操作检修开关,使电梯处于可靠的检修状态。随着轿厢慢速运行至最底层,检查轿厢是否与井道内其他固定部件或建筑设施相碰撞,并进一步清理轿厢和对重导轨,以及施工过程中遗留在井道内的杂物。

6) 以检修速度自上而下逐层安装井道内各层的永磁感应器、平层停车隔磁板(或各层相关的双稳态磁开关的永久圆磁体)及上、下端站的强迫减速开关、方向限位开关和极限开关,然后拆除控制柜接线端子上的临时短接线,使检修运行也处于安全保护之下。

7) 不带厅门的自动门机调试。

8) 带厅门的自动门机调试。

### (5) 电梯的快速运行及整机性能调试

在完成了上述二、三项的内容及调试后,即可投入电梯快速运行和整机性能调试。电梯的快速运行应在所有安全保护起作用的情况下进行。

在电梯快速运行试验之前,先将电梯慢速运行至整个行程的中间层楼,以防止电梯运行方向错误时,有时间采取紧急停车措施;令电梯处于有司机状态,轿内装载额定负载一半重量的负载。

#### 1) 轿厢内快速运行的调试工作。

①在轿厢内按下操纵盘上的层楼指令按钮,电梯即可自动定出运行方向,然后按关门按钮,电梯关门,并自动启动、加速至稳速运行,在接近已定的指令层时,电梯能自动减速、自动平层、停车开门。如此连续运行多次,应使每次运行正常。

②在上述运行过程中,如发现启动、减速、停车的3个阶段有不舒适的感觉时,应对控制柜上的启动、减速环节进行调整,直到满意为止。

③在上述运行过程中,应对平层停车的准确度进行检查,对于平衡负载,平层停车的准确度应较为理想。如发现只是某层的准确度不好,则调整某层隔磁铁板(或永久磁体)的位置即可;如发现所有层楼的停层准确均相差同一数值时,则应调整轿顶上的永磁感应器(或双稳态磁开关)位置。

④令电梯在空载和满载状况下,向上、向下运行于所有层楼,如其起制动及停车舒适感和各层楼的停层准确度均在标准范围内时,即可认为电梯的快速运行调试工作已全部完成。

2) 电梯的整机性能调试。当电梯的快、慢速运行均正常后,即可进行下列整机性能的调试。

①静载试验及其调整。将电梯置于最低层,切断动力电源,使轿厢的载荷平稳地加至 $150\%$ 的额定载重,则除了曳引钢丝绳的伸长以外,曳引机不应转动,如果转动则说明电磁制动器的弹簧制动力矩不够,应压紧其弹簧。如果曳引钢丝绳在曳引轮绳槽内有滑移现象,则说明曳引钢丝绳内的油性太大,导致其与绳槽的摩擦力太小,应清除曳引钢绳的油



污或调整导向轮的上下位置,增大曳引钢丝绳在绳轮上的包角,从而增加摩擦力。

②超载试验及其调整。对于有/无司机两用的集选控制电梯,应在轿厢内载荷达到额定载重的110%时,其超载装置动作,使电梯不能关门,又不能开车。如不能起作用,应予以调整(一般可调整轿底机械式称重装置的称砣位置和开关位置,对于电子式称重装置应调整相应的电位器)。

标准规范规定电梯应在断开超载控制电路时,并在110%的额定载荷下通电持续率达40%的情况下到达全行程。范围:启制动运行30次,电梯应能可靠地起动、运行和停止(平层不计),曳引机工作正常。规范规定当轿厢面积不能阻止载荷超过额定值时,需作此项试验,历时10min,曳引绳无打滑现象。

③电梯停层准确度的测定及其调整。在电梯空载、满载情况下进行此项工作。对上行和下行时各层的停层准确度进行测量,并作记录,若空载与满载时相差数值较大,并超出标准范围时,则调整应以空载向上运行时各层的停层准确度为正值(即轿厢地坎平面略高于层楼地坎平面),而满载下行时的停层准确度为负值(即轿厢地坎平面略低于层楼地坎平面)。

各类电梯轿厢的停层准确度应达到表6.3-5所规定的值。

表 6.3-5 电梯轿厢停层准确度

电梯类别	额定速度 (m/s)	平层准确度 (mm)
交流双速	$\leq 0.63$	$\pm 15$
交流双速	$\leq 1.00$	$\pm 30$
交直流调速	$< 2.00$	$\pm 15$
交直流调速	$\leq 2.50$	$\pm 10$

④两端站强迫减速开关和方向限位开关,以及极限开关动作位置的调整。以电梯空载向上运行,调整上端站的强迫减速限位开关、方向限位开关,以及极限开关的动作位置,并使其符合标准范围。以电梯轿厢满载向下运行,调整其下端站强迫减速限位开关、方向限位开关,以及极限开关的动作位置,并使其符合标准范围。

⑤机械安全保护系统的试验及其调整。这一部分主要是试验限速器和安全钳的联动动作性能是否可靠(因限速器的动作速度已在电梯制造厂出厂时调整好)。可令轿厢满载由最高层向下运行(额定速度),人为地推动限速器上的卡绳把柄,此时安全钳动作,切断控制电路并把轿厢牢牢地卡在导轨上。如果安全钳虽动作,但不能卡在导轨上或卡导的制停距离超出标准范围,则应在轿厢顶上调整安全钳楔块拉条上的弹簧及拉条的位置。

以上调试运行完毕后,调试人员须填写电梯试运转记录表。

### 4.3 电梯的验收

电梯调试结束,经安装人员自检、班组互检和厂家质检人员专检合格后,报政府指定的检验单位进行验收。电梯安装后的竣工验收,主要由政府指定的检验单位依据国标《电梯安装验收规范》(GB 10060—1993)和《电梯工程施工质量验收规范》(GB 50310—2002)等有关电梯的专门验收规

范要求进行,其验收的项目和要求主要有以下方面。

(1) 电梯生产厂家应提供的资料 and 文件

- 1) 装箱单。
- 2) 产品出厂合格证。
- 3) 机房、井道和轿厢平面布置图。
- 4) 电气原理图、符号说明及电气控制原理说明书。
- 5) 电气敷设图。
- 6) 部件安装图。
- 7) 安装说明书。

8) 安全部件,包括门锁装置、限速器、安全钳及缓冲器型式试验报告结论副本,其中限速器与渐进式安全钳还须有调试证书副本。

(2) 电梯安装企业应提供的资料 and 文件

- 1) 安装自检记录。
- 2) 安装过程中事故记录与处理报告。
- 3) 由电梯使用单位提出的经制造企业同意的变更设计的证明文件。

(3) 电梯竣工验收检验的主要项目

电梯竣工验收检验的主要项目见表6.3-6。

表 6.3-6 电梯安装验收检验项目分类

序号	项 类	规范条目	验收项目
1	机 房	4.1.1	主电源开关要求
2		4.1.2	断相保护装置
3		4.1.3	敷设与接地要求
4		4.1.4	线管、槽敷设要求
5		4.1.5	控制柜屏、安装位置
6		4.1.6	楼板钢丝绳洞孔
7		4.1.7	曳引机承重梁要求
8		4.1.8	旋转轮等涂色标志
9		4.1.9	旋转部件润滑要求
10		4.1.10	制动器松、合闸要求
11		4.1.11	绳、带轮铅垂度要求
12		4.1.12	限速器运转等要求
13		4.1.13	停电或故障应急措施
14	轿 厢	4.3.1	轿顶反绳轮要求
15		4.3.2	轿底水平度
16		4.3.3	曳引绳头组合等要求
17		4.3.4	曳引绳要求
18		4.3.5	轿内操纵要求
19		4.3.6	轿顶停止开关
20		4.3.7	轿架限位碰铁安装要求
21		4.3.8	安全保护开关安装要求
22	层 站	4.4.1	层站指示要求
23		4.4.2	层门地坎要求
24		4.4.3	层、轿厢门地坎要求
25		4.4.4	层门与地坎间隙
26		4.4.5	门刀与层门等间隙
27		4.4.6	门阻止力
28		4.4.7	门锁要求
29		4.4.8	层门外观要求
30		4.4.9	层门自动关闭装置



续表

序 号	项 类	规范条目	验收项目
31	井 道	4.2.1	导轨安装要求
32		4.2.2	导轨上端位置要求
33		4.2.3	导轨侧工作面直线度
34		4.2.4	导轨接头要求
35		4.2.5	导轨顶面间距
36		4.2.6	导轨固定要求
37		4.2.7	对重装置要求
38		4.2.8	限速器绳至导轨面偏差
39		4.2.9	轿厢与对重距离等要求
40		4.2.10	轿顶最小空间要求
41		4.2.11	井道照明要求
42		4.2.12	电缆支架安装要求
43		4.2.13	电缆安装要求
44		4.2.14	电缆安装要求
45	底 坑	4.5.1	轿底与缓冲器等间距
46		4.5.2	缓冲器顶面水平高差
47		4.5.3	缓冲器柱塞铅垂度
48		4.5.4	底坑停止开关要求
49		4.5.5	轿底最小间距与空间
50	整 机 功 能	4.6.1	曳引及平衡系数检查
51		4.6.2	限速器、安全钳联动试验
52		4.6.3	缓冲试验
53		4.6.4	层门与轿厢门门锁试验
54		4.6.5	上、下极限动作试验
55		4.6.6	安全开关动作试验
56		4.6.7	运行试验
57		4.6.8	超载运行试验
58		4.7.1	噪声限制要求检验
59		4.7.2	平层准确度检验

#### (4) 电梯竣工验收检验方法

《电梯监督检验规程》规定：“安装、大修或改造后拟投入使用的电梯”或“遇可能影响其安全技术性能的自然灾害或者发生设备事故后的电梯，以及停止使用一年以上再次使用的电梯，进行设备大修后”，都应当按照验收检验的要求进行检验。检验依据为《电梯监督检验规程》、《电梯制造与安装安全规范》和《电梯安装验收规范》等国家标准。验收检验在电梯安装、大修或改造等施工单位自检合格的基础上进行。检验项目内容比定期检验要全面、细致，标准也高。

一般验收顺序是：机房→井道→轿厢→层轿门→井道底坑→整机性能检验。凡重要项目中任一项不合格，或一般项目中不合格超过8项，均判定为不合格。如重要项目均合格，一般项目中不合格不超过8项，则允许调整修复，并对原不合格项目及相关项目给予补检。凡最终重要项目全部合格，一般项目中不合格不超过3项，判定为合格，准予验收。判为安装不合格的电梯需全面修复，修复后再次报请验收。验收后应出具“电梯验收检验报告”。

#### (5) 电梯使用中的定期检验

《电梯制造与安装安全规范》(GB 7588-2003)中已规

定了定期检验内容。《电梯监督检验规程》中规定：“在用电梯应当按照本规程对定期检验规定的内容，每年进行一次检验”。检验依据为《电梯制造与安装安全规范》(GB 7588—2003)和《电梯安装验收规范》(GB 10060—1993)等国家标准。定期检验是对在用电梯进行的以安全为重点的定期检验。电梯投入使用后，需要进行经常性的保养和维修，定期安全检验是确保电梯安全运行的监督手段。目前我国该项工作是由取得省级以上质量监督行政部门认证的特种设备检测机构实施。《电梯监督检验规程》是定期检验的规范和指导性文件。定期检验对在用电梯的安全运行和操作者的人身安全，起到了很好的监督和保障作用。

另外，对于重大改装或事故以后的检验项目内容，《电梯制造与安装安全规范》(GB 7588—2003)和《电梯监督检验规程》都有规定。

#### 4.4 自动扶梯的安装

当自动扶梯的提升高度小于6m时，一般是整机出厂，在出厂前已全部装配调试好。当整机运送到现场后，直接安装在预先准备好的建筑物支撑体上。当提升高度超过6m或安装现场运输通道不能使整机通过时，可分段运送到现场后进行安装。分段装运时，应将已装配好的扶梯梯级沿牵引链条可拆卸处临时拆开几级，并将梯级与牵引链条临时固定在该分段的金属桁架上。

自动扶梯的安装过程一般分为：熟悉自动扶梯平面布置图、土建勘查记录资料、电路原理图，以及检查产品合格证和自检报告书，机械结构起吊、安装、电气结构安装，自动扶梯试运行及验收。

##### (1) 自动扶梯安装前的准备

自动扶梯的安装和电梯安装一样，必须组织具有安装许可证的单位来实施安装作业工作。安装人员到位后必须清理好作业现场，检查作业现场是否有足够的照明及施工电源，工具准备齐全，熟悉自动扶梯及现场土建资料，开箱按清单检查各种备件是否齐全、合格，并按规定堆放在最有利于自动扶梯安装的位置。检查核对土建尺寸，包括高度、跨度、支撑梁和底坑等是否符合要求。要特别注意支撑梁及其中心线是否满足垂直度要求，底坑是否与土建图纸尺寸相符。如有不符合要求的，应与土建方协调，采取修补以满足安装要求。

##### (2) 自动扶梯的安装

自动扶梯的安装有以下几步：

1) 整体连接。当自动扶梯是分段运送到安装现场时，则需在现场起吊安装，在安装前须埋好安装垫板。桁架的连接采用端面配合连接法，在每个接合面上用若干个M24高强度螺栓连接，连接所用工具为专用工具，一般为测力扳手，使各螺栓受力均匀，桁架连接好即可起吊到位。起吊时，起吊钩必须钩在自动扶梯的起吊点上，不得触碰其他地方。

2) 梯级的安装。驱动装置在出厂时已安装在自动扶梯桁架结构的内部上端，张紧装置已安装在桁架结构内部下端，并均已在出厂时调试好。自动扶梯的绝大部分梯级已在出厂时安装好，只有少数几个梯级是在现场安装的，在桁架结构拼装起吊到位后，即可拆除在出厂前因分段运输而临时固定牵引链条和梯级的钢丝绳，用钢丝销将牵引链条销轴连接。

当牵引链条连接后，可以用点动的方法使自动扶梯试运行。运行正常，则可安装最后的几个未装梯级。安装前，将

安装位置点动至自动扶梯下部张紧装置处,如图 6.3-38 所示。将待装梯级的两个轴承座推向梯级主轴轴套,盖上轴承盖,拧紧螺钉,即可将梯级安装到位。当大部分梯级装好后,开车上、下反复试运转,保证在工作区段内的任何位置,从踏面测得两个相邻梯级或两个相邻踏板(踏步)之间的间隙不超过 6mm。并使梯级能平稳地通过上、下转向部分,振动和噪声也能符合要求。停车后,用手拉动梯级,看是否有间隙,若有间隙说明安装准确。若无间隙,用手全力转动梯级辅轮。如不能转动,则必须调整,逐个检查梯级,确保各个都能转动。如果梯级偏于一侧,可通过调整梯级轴承与梯级主轴轴肩间的垫圈来实现梯级的对中安装。最后几个梯级是在扶手系统、安全系统等均安装完成后,再予以安装,安装方法与前述一致。

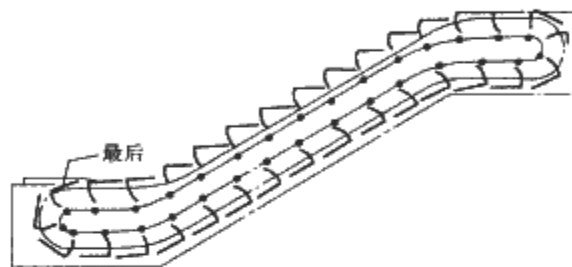


图 6.3-38 最后一个梯级的安装简图

3) 扶手系统的安装。由于运输及空间的影响。再加上扶手系统强度等原因,一般自动扶梯的扶手系统是在现场安装的。有的是在制造厂将扶手系统安装好,运输前拆卸下来另行包装运输。扶手系统的安装包括扶手玻璃(护板)、扶手导轨、玻璃夹具及扶手带的安装,以及压板、盖板的安装和照明等设备的安装。玻璃的安装是在支撑型材中间放入衬垫,然后将钢化玻璃慢慢插入支撑型材,保证玻璃的长度和高度。尤其是在扶梯弯曲部位,一定要将高度对齐。每插入一块钢化玻璃后,初步拧紧螺母,在每两块相邻玻璃之间装入玻璃填充片,其间距为 2mm。当全部玻璃均插入支撑型材后,小心地将全部夹紧螺母拧紧,将橡皮件装在玻璃板上端,然后装上扶手的支撑型材。在安装过程中,只能用橡皮锤施力。若钢化玻璃偏斜,必须先松开夹紧螺母,后调整,不可强行安装扶手支撑型材。安装好扶手支撑型材后,即可在支撑型材上,用固定螺母将扶手导轨装上。在安装扶手导轨时,一般先安装两头转角扶手导轨,再安装中间扶手导轨。扶手导轨的连接处必须光滑,不可出现尖棱,以防损伤扶手胶带。当所有扶手导轨安装到位并检查合格、导轨擦净后,即可将扶手胶带自上而下装上导轨。

4) 裙板的安装。裙板的安装与扶手的安装相同,先安装上、下平台及转弯处,再安装中间。裙板连接必须平整光滑。自动扶梯的裙板任何一侧与梯级之间的间隙应不超过 4mm,在两侧对称位置处测得的间隙总和应不大于 7mm。

5) 电气线路与安全装置的安装。电气线路与安全装置的安装应按厂家的电气线路图执行,安装前对所有元器件进行必要的检验,查看合格证明。要特别注意零线和地线始终保持分开,直接与电源连接的电动机的短路保护装置是否可靠,所有电器及安全电路安装后,要进行一次检查方可通电试运行。

6) 内、外盖板的安装。当电气线路,安全装置全部安装调试好后,安装内、外盖板。在转角处扶手栏杆安装后,先装转角部盖板和弯曲部盖板,然后装中部外盖板,所有盖板的连接必须光滑平整。

#### 4.5 自动扶梯的调试

自动扶梯在结构和线路全部安装完成,正式运行前,要进行一次调试运行。在调试前必须清理现场,注意采取保护措施,无关人员不能进入调试现场。调试主要针对驱动装置、制动装置、裙板和梯级之间的间隙,各安全保护装置是否能正常起作用等方面进行。

##### (1) 驱动装置

驱动装置在自动扶梯出厂时已调整好,当它随同扶梯经过运输和安装后要进行重新调整。首先检查驱动装置中的三角皮带,用手紧按三角皮带,它的弯曲度不能超过 5mm。若太松,则不利于驱动电机输出扭矩的传递,还可能出现皮带打滑。其次是检查驱动主轴与驱动机组间传动链条和它的悬垂度,如果链条从动侧的垂度为 5~10mm,则符合要求。如果不符合,则要进行调整。方法是松开驱动机组的四个角固定螺钉,借助张紧螺栓,使机组移动。当链条垂度符合要求时,将四个螺钉固定。检查链条的润滑情况,若不满足要求,则必须再加润滑油。同时检查两根牵引链条的防断安全触头与链条间的间隙是否为 3.5~7mm 之间,若不符合,则调整至要求。扶手传动链从动边的垂度要求同上。

##### (2) 制动装置

制动装置的调整主要保证制动系统能按要求动作,有符合要求的制动载荷和制停距离。在自动扶梯正常运转时,闸瓦和制动轴之间的间隙必须均匀合适。制动装置的调整包括下列内容。

1) 如果制停距离及制动载荷不满足 GB 16899—1997 的规定,则必须进行调整。调整方法是:松开防松螺母,然后转动调整螺栓以调整转矩,其中顺时针方向为转矩增加,逆时针方向为转矩减少。注意尽量使同一方向每一只调整螺栓上的弹力相当。转矩调整合适后,用防松螺母锁紧螺栓。

2) 裙板和梯级之间的间隙应符合 GB 16899—1997 的规定。若不符合,则要进行调整,调整方法是通过拆下裙板的触板点上的调节螺钉来实现。

3) 通过对扶梯实行钥匙控制,点动进行上、下断续开车,对于出现的异常振动、噪声、碰擦,以及在调试运行过程中出现的其他不正常现象必须进行及时的调整,以满足设计、安装及运行的要求。

#### 4.6 自动扶梯的验收

##### (1) 验收资料

自动扶梯在第一次使用前,经过安装和使用单位双方自检和质检后,必须报请国家专门的管理部门进行安全技术验收和检验。安装验收自动扶梯必须具备 GB 16899—1997 规定的相应条件及相关的资料。

1) 制造企业应提供的资料 and 文件,应提供的资料 and 文件包括:①装箱单;②产品出厂合格证;③使用维护说明书(应包含自动扶梯润滑图案及扶梯功能表);④动力电路和安全电路的电气线路示意图及符号说明;⑤电气敷设图;⑥部件安装图;⑦安装说明书;⑧安全部件性能检验报告副本。

2) 安装企业应提供的资料 and 文件,应提供的资料 and 文件有:①安全自检记录;②安装过程中事故记录与处理报告;③由自动扶梯使用单位提出的经制造企业同意变更设计的证明文件;④在安装过程中已修改过的土建图纸。

3) 使用单位使用管理的规定材料也必须提供,另外还需提供相应的计算资料,包括:①自动扶梯金属结构的静应力分析资料或静应力分析人员出具的等效证明文件;②直接

驱动梯级、踏板或胶带(如梯级链、牵引齿条等)要具有足够的抗断裂强度的计算证明;③记载自动扶梯制动距离的计算及其修正计算数据;④梯级或踏板的证明文件;⑤胶带的断裂强度证明文件;⑥对于公共交通型自动扶梯和自动人行道应具有扶手断裂强度的证明书。

#### (2) 验收和检验的内容

在具备了上述资料、检查合格后,进行自动扶梯的验收和检验。验收和检验应在自动扶梯安装完毕后,处在可运转状态时进行。验收和检验的内容包括:①整体外观检查;②功能试验;③安全装置动作的有效性试验;④对空载自动扶梯进行制动试验,同时应按计算资料要求的计算值检验制动器的调节性能,此外,要求对自动扶梯进行带有制动载荷下的制停距离试验;⑤测量不同回路导线对地的绝缘电阻,在做这一测量时,电子元件应予以断开。另外应进行自动扶梯驱动站处的接地端子与其他易于意外带电的零部件之间连接的电气连续性试验。

#### (3) 验收和检验项目要求

1) 上平台、下平台机房内应保持清洁,在机房内应设有可切断动力电源的主开关,在机房内应设有检修用手电灯电源插座,控制柜(屏)安装在机房内;其机房和转向站内应有一块不少于 $0.3\text{m}^2$ 的站立面积,其中较少一边长度不少于 $0.5\text{m}$ 。

2) 驱动系统的验收和检查包括:①驱动链及扶手驱动链应保证合理的张紧度,其松弛下垂量为 $5\sim 10\text{mm}$ ;②梯级链、驱动链与扶手链应保证润滑良好;③链轮、链条及制动器应保持清洁;④工作制动器在扶梯运行时,制动闸瓦和制动轮之间的间隙应均匀,一般为 $3\text{mm}$ 。

#### 3) 梯级、梳齿与裙板的验收和检查包括下列内容:

①在工作区段内任何位置,从踏面测得的两相邻梯级或两相邻踏板之间的间隙不应超过 $6\text{mm}$ ,在自动扶梯过渡曲线区段,踏板的前缘和相邻踏板的后缘啮合,其间隙不超过 $8\text{mm}$ 。

②自动扶梯围裙板设置在梯级、踏板或胶带的两侧,梯级、踏板或胶带与围裙板之间的间隙,任何一侧水平间隙应不大于 $4\text{mm}$ ,在两侧对称位置处测得的间隙总和应不大于 $7\text{mm}$ 。

③如果自动人行道的围裙板设置在踏板或胶带上时,则踏板表面与围裙板下端之间所测得的垂直间隙应不超过 $4\text{mm}$ ,踏板或胶带的横向摆动不允许踏板或胶带的侧边与围裙板垂直投影间产生间隙。

④梳齿板梳齿与踏板齿槽啮合深度应至少为 $6\text{mm}$ ,间隙应不超过 $4\text{mm}$ 。

⑤自动扶梯梯级在出入口处应有导向,使其从梳齿板出来的梯级前缘和进入梳齿板梯级后缘至少有一段 $0.8\text{m}$ 长的水平移动距离。在水平运动段内,两相邻梯级之间的高度误差不得超过 $4\text{mm}$ 。

#### 4) 扶手带。扶手带的验收和检查包括下列内容:

①在出入口,扶手带超出梳齿板延伸段的水平部分长度,自梳齿板齿根起至少为 $0.3\text{m}$ 。对于倾斜式自动人行道,若出入口不设水平段,其扶手带延伸的倾斜角允许与自动人行道的倾斜角相同。

②为了防止扶手带夹手,扶手带开口处与导轨或扶手支架之间的距离在任何情况下均不允许超过 $8\text{mm}$ 。扶手带外缘与墙壁或其他障碍物之间的水平距离,在任何情况下不得小于 $80\text{mm}$ 。这个距离应保持至自动扶梯梯级上方至少 $2.1\text{m}$ 高度处。对相互邻近平行或交错设置的自动扶梯,扶

手带的外缘间距离至少为 $120\text{mm}$ 。

③扶手带中心线之间的距离所超出围裙板之间距离的值应不大于 $0.45\text{m}$ 。

④扶手带在扶手转向端的入口处最低点与地板之间的距离应不小于 $0.1\text{m}$ ,且不大于 $0.25\text{m}$ 。扶手转向端顶点至扶手带入口处之间的水平距离应至少为 $0.3\text{m}$ 。扶手带的导向和张紧应能使其在正常工作时不会脱离扶手导轨。

⑤在 $0.5\text{m}$ 长度的扶手带表面垂直施加一个 $900\text{N}$ 的均布力时,扶手装置的任何部件不应产生永久变形、断裂或位移。

5) 扶栏和裙板。扶栏和裙板的验收与检验包括下列内容:

①朝向梯级、踏板或胶带一侧的扶手装置部分应当是光滑的,压条或镶条的装设方向与运动方向不一致时,其凸出高度应不超过 $3\text{mm}$ ,且应坚固和具有圆角或倒角的边缘。此类压条或镶条不允许装设在围裙板上。

②内、外盖板的连接处,特别是围裙板与护壁板之间的连接处,应光滑,使勾绊的危险降至极小。

③护壁板之间的空隙应不大于 $4\text{mm}$ ,其边缘应呈圆角和倒角状。护壁板应有足够的强度和刚度,在其表面任意部位,垂直施加一个 $500\text{N}$ 的力于 $25\text{cm}^2$ 的面积上时,不应出现大于 $4\text{mm}$ 的凹陷和永久变形。如护壁板是钢化玻璃,则它的厚度不能小于 $6\text{mm}$ 。

④围裙板应是十分坚固、平滑,且是对接缝的,它应垂直。围裙板上缘或内盖板折线底部或防夹装置的刚性部分与梯级、踏板或胶带踏面之间的垂直距离应不小于 $25\text{mm}$ 。

⑤对围裙板的最不利部位,垂直施加一个 $1500\text{N}$ 的力于 $25\text{cm}^2$ 的面积上,其凹陷应不大于 $4\text{mm}$ ,且不应由此而导致永久变形。

⑥内盖板和护壁板与水平面的倾斜角均应不小于 $25^\circ$ ,与护壁板相连的内盖板的水平部分应小于 $30\text{mm}$ 。

#### 6) 安全装置。安全装置的检验包括下列内容:

①自动扶梯的安全装置一般有供电电源错相断相保护装置;驱动链安全装置;梯级链安全装置;扶手带入口处安全装置;电磁制动器;限速器;裙板安全装置;弯曲导轨安全装置;梯级滚轮安全装置;不反转装置;扶手带入口处橡胶保护罩;急停按钮;梳齿安全装置;扶手带安全装置等。

②各种安全保护装置应可靠固定,不得使用焊接方法固定。各按钮、行程开关应灵活,不得由于自动扶梯的正常运行而误动作。

对安全装置的基本要求有:①当动力电源及控制电路掉电时,制动器应能工作。在规定的制动载荷下自动扶梯的制停距离应符合GB 16899—1997的标准规定。制停距离应从电气制动装置动作时开始测量。②将动力电源输入线断去一相或交换相序,扶梯应不能工作。③关断出入口急停按钮,电梯应立即停止。④用手指或大小相近物品插入扶手带入口处,打板连接保护装置应动作,扶梯立即停驶。⑤扶梯空载运行时,人为使防逆转保护装置动作,扶梯应立即停止运行。⑥在扶梯空载运行时,人为使驱动链保护装置和梯级链保护装置动作,电梯应立即停止运行。⑦在扶梯空载运行时,人为在扶梯入口处裙板上施加一力或在梳齿间卡入一专用工具,裙板保护装置及梳齿保护装置应能立即动作,使扶梯停驶。

#### 7) 速度和加速度。运行速度加速度测试包括下列内容:

①自动扶梯的额定速度,在倾角不大于 $30^\circ$ 时,一般为 $0.75\text{m/s}$ ;在倾角大于 $30^\circ$ 但小于 $35^\circ$ 时,为 $0.50\text{m/s}$ 。在额

定的频率与额定电压下,梯级踏板或胶带沿运动方向空载时,所测得的速度与额定速度之间的最大允许偏差为 $\pm 5\%$ ,扶手带的运行速度相对于梯级、踏步或胶带的速度允许误差为 $0\sim+2\%$ ,以上数据在空载时,上、下各测3次。②加速度测试时将加速度测试仪固定在梯级或踏步或胶带上,分别测垂直踏步及与运动方向垂直两个方向的加速度,空载时上、下行各测2次。

8) 机械结构。扶梯其他机械结构运行的噪声及驱动装置温升测试按 GB 16899—1997 及相关标准测试。

9) 电气线路的检测。自动扶梯电气设备的设计和制造及安装应保证在使用中能防止由于电气设备本身引起的危险,或能防止由于外界对电气设备影响所可能引起的危险。

对电气系统检收,首先要对照接线图查看各线路是否正确连接。包括动力电路的主开关及附属电路、照明电路的开关及附属电路和控制电路等。

①导体之间和导体对地之间的绝缘电阻应大于  $1000\Omega/V$ ,并且其值不得小于:动力电路和电气安全装置电路:  $500\,000\Omega$ ;其他电路(控制、照明、信号等):  $25\,000\Omega$ 。

②对于控制电路和安全电路,导体之间或导体对地之间的直流电压平均值或交流电压的有效值不应超过  $250V$ 。

③零线和地线始终分开。

④开关、插座、接触器、继电器及各安全电路元件必须工作正常。自动人行道的安装调试及检验程序与自动扶梯也一样。



## 第7篇 建筑照明

主 编：洪元颐 詹庆旋

编写人员：张 昕 程春晖 叶 明 李宏毅 刘式良

姚梦明 郑朝晖 张良洪 韩金兰 韩 丽

黄引达





# 第1章 概述

自从生物在地球萌芽,绿色的植物及生物都是在阳光的沐浴下成长起来的,人类的生活每时每刻都离不开光。有的光是在大自然中产生的,如阳光、月光、星光、雷电等甚至有各种昆虫发出的微光。此外,还有人为产生的光,如火把的火光、蜡烛的烛光等。其中特别值得记忆的是1879年A.爱迪生发明了白炽灯,以及中国在1923年由胡西园等上海亚明公司的先驱创造了中国的第一只白炽灯。由此,电力照明技术发展发生了飞跃。尤其在近年来,光源技术、灯具技术,以及电气控制技术的发展,使照明技术发展到一个新的境界。人们开始更深地认识到光及其物理特性,认识各种材料的光特性,认识人在对光的感觉中生理和心理的各种反应,诸此种种。科学与技术的发展使人类进入了一个五彩斑斓的世界。

电气照明技术的诞生,为人类创造了一个可以控制与变幻的光的世界,光电技术可以分为三大部分,即光源、灯具及控制;当然还要包括相对应的软件。

电光源世界的发展是人类发展史的一个伟大的篇章,人们将永远记忆爱迪生的伟大与智慧。随着物理、化学、材料、电气、电子技术的发展,今天的人工光源已经有大大小小数百种,有白炽灯、荧光灯、金属卤化灯、半导体发光灯、高压钠灯、氙灯、天极灯及电致发光灯等。电光源是人们运用电光技术的最基础的器件。由于各种光源所产生的亮度、色温都不相同,以及节能的要求,使人们在选择光源上要做到恰如其分。

灯具具有多种技术功能。首先它运用光源的物理特征,用

发射、衍射、透射等各种光学技术,创造出一个人造的配光曲线,以适应被照射物理的光学参数,显然它要与所采用的光源形式相配合,与光源的发光强度相适合。此外,它还应与被照的环境条件相适合,由于灯具表现在物体的外面,它们的造型将会在人们的视觉范围内产生一个突出的印象,也是整个光环境中的核心。在豪华的高级酒店中,营业者常常不惜重金,用水晶玻璃、海贝等材料编制出美观的形体,营造出一个温馨、光彩的世界。

20世纪,半导体发光二极管(LED)——这项半导体技术的发现,不仅促进了电子技术及IT技术的发展,同时也在照明领域中产生了重大的影响。而且它的发光机理、它的色彩“可控性”及“无时滞性”,推动了影像事业中的一个飞跃。

LED目前的应用是十分广泛的,特别是在体育场馆采用的大屏幕显像技术上,它很快就代替了白炽灯技术,可以说是霸占了整个市场。而且这个应用恰恰发挥了LED的优点。首先LED的亮度可以达到 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ ,在白天的日光下依旧光彩夺目;其次它的像素点(红、绿、蓝)的组合可以形成良好的色彩;其三,半导体发光的“无时滞性”和计算机的数字控制可以实时连接,形成动态图画。

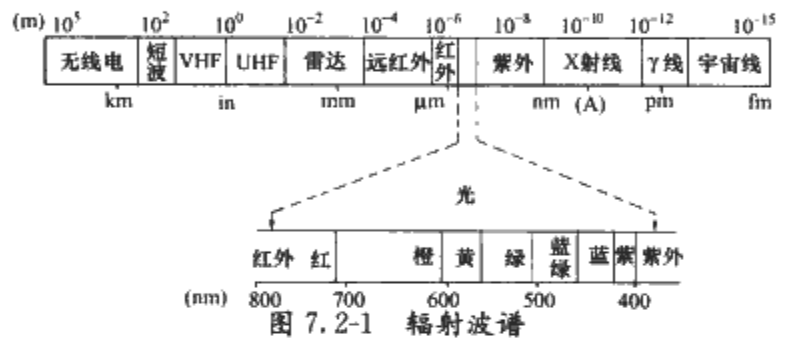
但LED技术在照明技术中作为光源也有一定的不足,如LED的发光亮度及颜色随着使用时间的延伸而缩减,产品特性的一致性有待提高,价格依然昂贵等。总之这项技术还有相当长的路要走。

第2章 照明的基础概念

1 光的理论

1.1 光的性质

光是以电磁波形式传播的辐射能。波长在 380nm<sup>●</sup>至 760nm 的这部分辐射能引起光视觉，称为可见光（简称光）。波长短于 380nm 的是紫外线、X 射线、γ 射线、宇宙线；长于 760nm 的有红外线、无线电波等。它们与光的性质不同，人眼是看不见的（见图 7.2-1）。



不同波长的光在视觉上形成不同的颜色，例如 700nm 波长的光呈红色，580nm 波长的光呈黄色，470nm 波长的光呈蓝色。单一波长的光呈现一种颜色，称为单色光。日光和灯光都是由不同波长的光混合而成，叫做复合光，它们呈白色或其他颜色。将复合光中各种波长辐射的相对功率量值按对应波长排列连接起来，就形成该复合光的光谱功率分布曲线，它是光源的一个重要物理参数。光源的光谱组成不但影响光源的表观颜色，而且决定被照物体的显色效果。

人眼对不同波长单色光的视亮度感受性也不一样，这是光在视觉上反映的另一特征。在光亮的环境中（适应亮度约大于 3cd/m<sup>2</sup>），辐射功率相等的单色光看起来以波长 555nm 的黄绿光最明亮，并且明亮程度向波长短的紫光 and 波长长的红光方向递减。国际照明委员会（CIE）根据大量的实验结果，认定 555nm 为同等辐通量条件下视亮度最高的单色波长，记为 λ<sub>m</sub>。将视亮度感觉相等的波长为 λ 和 λ<sub>m</sub> 的两个辐通量之比，定义为波长 λ 的单色光的光谱光视效率（也称视见函数），以 V(λ) 表示，即明视觉光谱光视效率。也就是说，波长 555nm 的黄绿光 V(λ) = 1，其他波长的单色光 V(λ) 均小于 1（见图 7.2-2）。在较暗的环境中（适应亮度约小于 0.03 cd/m<sup>2</sup> 时），人的视亮度感受性发生变化，以 λ = 510nm 的蓝绿光最为敏感。按照这种特定光环境条件确定

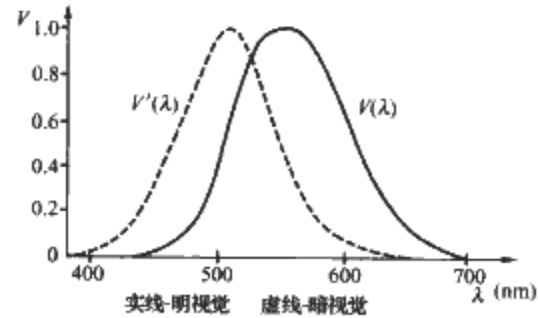


图 7.2-2 光谱光视效率

的 V'(λ) 函数称为暗视觉光谱光视效率（见图 7.2-2）。介于上述两种环境亮度之间的视觉状态叫做中间视觉，CIE 尚未确定中间视觉条件下人的光视效率函数。

CIE 规定的 V(λ) 和 V'(λ) 函数是光度学计算和测量的重要基础，见表 7.2-1。相对光谱灵敏度曲线符合这一函数的人或辐射接收器称为 CIE 标准光度观测者。

表 7.2-1 CIE 明视觉光谱光视效率 V(λ) 与暗视觉光谱光视效率函数 V'(λ)

波长 (nm)	V(λ)	V'(λ)	波长 (nm)	V(λ)	V'(λ)
360	3.917E-06		585	8.163E-01	8.990E-02
365	6.965E-06		590	7.570E-01	6.550E-02
370	1.239E-05		595	6.949E-01	4.690E-02
375	2.202E-05		600	6.310E-01	3.315E-02
380	3.900E-05	5.890E-04	605	5.668E-01	2.312E-02
385	6.400E-05	1.108E-03	610	5.030E-01	1.593E-02
390	1.200E-04	2.209E-03	615	4.412E-01	1.088E-02
395	2.170E-04	4.530E-03	620	3.810E-01	7.370E-03
400	3.960E-04	9.290E-03	625	3.210E-01	4.970E-03
405	6.400E-04	1.852E-03	630	2.650E-01	3.335E-03
410	1.210E-03	3.484E-02	635	2.170E-01	2.235E-03
415	2.180E-03	6.040E-02	640	1.750E-01	1.497E-03
420	4.000E-03	9.660E-02	645	1.382E-01	1.005E-03
425	7.300E-03	1.436E-01	650	1.070E-01	6.770E-04
430	1.160E-02	1.998E-01	655	8.160E-02	4.590E-04
435	1.684E-02	2.625E-01	660	6.100E-02	3.129E-04
440	2.300E-02	3.281E-01	665	4.458E-02	2.146E-04
445	2.980E-02	3.931E-01	670	3.200E-02	1.480E-04
450	3.800E-02	4.550E-01	675	2.320E-02	1.026E-04
455	4.800E-02	5.130E-01	680	1.700E-02	7.150E-05
460	6.000E-02	5.670E-01	685	1.192E-02	5.010E-05
465	7.390E-02	6.200E-01	690	8.210E-03	3.533E-05
470	9.098E-02	6.760E-01	695	5.723E-03	2.501E-05
475	1.126E-01	7.340E-01	700	4.102E-03	1.780E-05
480	1.390E-01	7.930E-01	705	2.929E-03	1.273E-05
485	1.693E-01	8.510E-01	710	2.091E-03	9.140E-06
490	2.080E-01	9.040E-01	715	1.484E-03	6.600E-06
495	2.586E-01	9.490E-01	720	1.047E-03	4.780E-06
500	3.230E-01	9.820E-01	725	7.400E-04	3.482E-06
505	4.073E-01	9.980E-01	730	5.200E-04	2.546E-06
510	5.030E-01	9.970E-01	735	3.611E-04	1.870E-06
515	6.082E-01	9.750E-01	740	2.492E-04	1.379E-06
520	7.100E-01	9.350E-01	745	1.719E-04	1.022E-06
525	7.932E-01	8.800E-01	750	1.200E-04	7.600E-07
530	8.620E-01	8.110E-01	755	8.480E-05	5.670E-07
535	9.149E-01	7.330E-01	760	6.000E-05	4.250E-07
540	9.540E-01	6.500E-01	765	4.240E-05	3.196E-07
545	9.803E-01	5.640E-01	770	3.000E-05	2.413E-07
550	9.950E-01	4.810E-01	775	2.120E-05	1.829E-07
555	1.000E+00	4.020E-01	780	1.499E-05	1.390E-07
560	9.950E-01	3.288E-01	785	1.060E-05	
565	9.786E-01	2.639E-01	790	7.466E-06	
570	9.520E-01	2.076E-01	795	5.258E-06	
575	9.154E-01	1.602E-01	300	3.703E-06	
580	8.700E-01	1.212E-01			

● nm，纳米，1nm=10<sup>-9</sup>m。

## 1.2 基本光度量

### 1.2.1 光通量

光通量是按照国际约定的人眼视觉特性评价的辐射能通量(辐射功率)。根据这一定义,光通量可以由辐通量及 $V(\lambda)$ 函数导出

$$\Phi = K_m \int \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (7.2-1)$$

式中, $\Phi$ 为光通量; $\Phi_{e,\lambda}$ 为波长为 $\lambda$ 的单色辐通量; $V(\lambda)$ 为CIE标准光度观测者明视觉光谱光视效率; $K_m$ 为最大光谱光视效能。

光视效能 $K$ 是描述光和辐射之间关系的量,它是总光通量与辐通量之商( $K=\Phi/\Phi_e$ )。但是, $K$ 值是随光的波长而变化的, $K(\lambda)$ 的最大值 $K_m$ 在 $\lambda=555\text{nm}$ 处。根据一些国家权威实验室的测量结果,1977年国际计量委员会决定采用 $K_m=683\text{lm/W}$ 。

光通量的单位是流明,符号为 $\text{lm}$ 。在国际单位制和我国法定的计量单位中,它是一个导出单位。 $1\text{lm}$ 是各方向发光强度均为 $1\text{cd}$ 的点光源在 $1$ 球面度立体角内发出的光通量。

在照明工程中,光通量是说明光源发光能力的基本量。例如,一只 $40\text{W}$ (这里是指灯的耗电功率)白炽灯发射的光通量为 $390\text{lm}$ ;一只 $36\text{W}$ 荧光灯发射的光通量为 $2800\sim 3200\text{lm}$ ,比白炽灯多 $7\sim 8$ 倍。

### 1.2.2 照度

照度是受照平面上接受的光通量的面密度,符号为 $E$ 。若照射到表面一点面元上的光通量为 $d\Phi$ ,该面元的面积为 $dA$ ,则

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (7.2-2)$$

照度的单位是勒克斯,符号 $\text{lx}$ 。 $1\text{lx}$ 等于 $1\text{lm}$ 的光通量均匀分布在 $1\text{m}^2$ 表面上所产生的照度,即 $1\text{lx}=1\text{lm}/\text{m}^2$ 。勒克斯是一个较小的单位,例如:夏季中午日光下,地平面上照度可达 $10^5\text{lx}$ ;在装有 $40\text{W}$ 白炽灯的书写台灯下看书,灯下桌面照度约为 $200\sim 300\text{lx}$ ;月光下的照度只有几个 $\text{lx}$ 。

照度可以直接相加。如果房间里有4盏灯,它们对桌面上A点的照度分别为 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 、 $E_4$ ,则A点总照度 $E_A$ 等于4个照度值之和,写成通用的表达式就是

$$E = \sum E_i \quad (7.2-3)$$

照度的英制单位是英尺烛光,符号为 $\text{fc}$ ;  $1\text{fc}=1\text{lm}/\text{ft}^2=10.76\text{lx}$ 。目前只有美国、加拿大等极少数的国家还沿用英制单位。

### 1.2.3 发光强度

点光源在给定方向的发光强度,是光源在这一方向上立体角元内发射的光通量与该立体角元之商,符号为 $I$ 。

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (7.2-4)$$

如果在有限立体角 $\Omega$ 内传播的光通量 $\Phi$ 是均匀分布的,上式可写成

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (7.2-5)$$

式中, $\Omega$ 为立体角; $\Phi$ 为光通量;其概念在图7.2-3中说明。以任一锥体顶点 $O$ 为球心,任意长度 $r$ 为半径作一球面,被

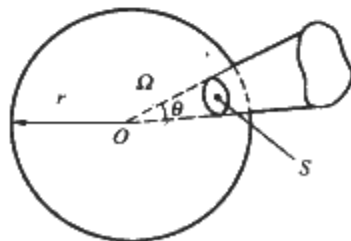


图 7.2-3 立体角定义

锥体截取的一部分球面面积为 $S$ ,则此锥体限定的立体角 $\Omega$ 为

$$\Omega = \frac{S}{r^2} \quad (7.2-6)$$

立体角的单位是球面度(符号 $\text{sr}$ )。当 $S=r^2$ 时, $\Omega=1\text{sr}$ 。因为球的表面积为 $4\pi r^2$ ,所以立体角的最大数值为 $4\pi$ 球面度。

发光强度的单位是坎德拉(Candela),符号 $\text{cd}$ 。 $1$ 坎德拉等于 $1$ 流明每球面度( $1\text{cd}=1\text{lm}/\text{sr}$ )。

坎德拉是我国法定单位制与国际SI制的基本单位之一,其他光度量都是由坎德拉导出的。

1979年10月第10届国际计量大会通过的坎德拉定义如下:“一个光源发出频率为 $540 \times 10^{12} \text{Hz}$ 的单色辐射,若在一定方向上的辐射强度为 $\frac{1}{683} \text{W}/\text{sr}$ ,则光源在该方向上的发光强度为 $1\text{cd}$ 。”

发光强度常用于说明光源和照明灯具发出的光通量在空间选定方向上的分布密度。如一只 $40\text{W}$ 白炽灯泡发出 $390\text{lm}$ 的光通量,它的平均光强为 $390/4\pi=31\text{cd}$ 。在裸灯泡上面装一盏白色搪瓷平盘灯罩,灯的正下方发光强度能提高到 $80\sim 100\text{cd}$ 。如果配上一个合适的镜面反射罩,则灯下方的发光强度可以高达数百坎德拉。在这两种情况下,灯泡发出的光通量并没有变化,只是光通量在空间的分布更为集中了。

### 1.2.4 光亮度(亮度)

光源或受照物体反射的光线进入眼睛,在视网膜上成像,使人们能够识别它的形状和明暗。视觉上的明暗知觉取决于进入眼睛的光通量在视网膜物像上的密度——物像的照度。这说明,确定物体的明暗要考虑两个因素:①物体(光源或受照体)在指定方向上的投影面积——这决定物像的大小;②物体在该方向上的发光强度——这决定物像上的光通量密度。根据这两个条件,可以建立一个新的光度量——光亮度。

光亮度是一单元表面在某一方向上的光强密度。它等于该方向上的发光强度与此面元在这个方向上的投影面积之商,以符号 $L$ 表示。

$$L = \frac{dI_\theta}{dA \cos \theta} \quad (7.2-7)$$

应当注意,光亮度常常是各方向不同,所以在谈到一点或一个有限表面的亮度时需要指明方向。

光亮度简称亮度。它的法定单位是坎德拉每平方米( $\text{cd}/\text{m}^2$ )。在照明工程应用中,亮度单位名称繁多,常用非法定单位与 $\text{cd}/\text{m}^2$ 的换算关系如下

$$1 \text{ 尼特}(\text{nt}) = 1 \text{ cd}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ 阿熙提}(\text{asb}) = \frac{1}{\pi} \text{ cd}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ 熙提}(\text{sb}) = 10^4 \text{ cd}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ 朗伯}(\text{L}) = \frac{10^4}{\pi} \text{ cd}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ 英尺朗伯}(\text{fL}) = 3.426 \text{ cd}/\text{m}^2$$

太阳的亮度高达 $2 \times 10^9 \text{ cd}/\text{m}^2$ ,白炽灯丝的亮度约为 $(3 \times 10^6 \sim 5 \times 10^6) \text{ cd}/\text{m}^2$ ,而普通荧光灯的亮度只有

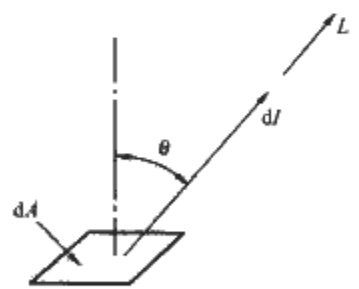


图 7.2-4 亮度概念

● 对应于空气中波长 $555\text{nm}$ 的单色辐射,这是人眼最敏感的波长。

约 $(7 \times 10^3 \sim 8 \times 10^3) \text{ cd/m}^2$ 。

1.3 光的传播

光在均匀介质中沿直线传播，它在空气中的传播速度接近  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  ( $30 \text{ 万 km/s}$ )。在不同介质中的光速与折射指数见表 7.2-2。

表 7.2-2 光速与折射指数

介质种类	光速 (m/s)	折射指数
真空	$2.997\ 92 \times 10^8$	1.000 000
空气	$2.997\ 04 \times 10^8$	1.000 293
水	$2.249\ 00 \times 10^8$	1.333 000
玻璃	$1.982\ 10 \times 10^8$	1.512 500

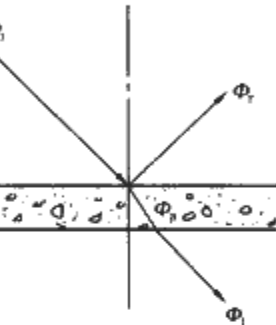


图 7.2-5 光通量的反射、透射与吸收

光在传播过程中遇到新的介质时，会发生反射、透射与吸收现象。一部分光通量被介质表面反射 ( $\Phi_r$ )，一部分透过介质 ( $\Phi_t$ )，余下的一部分则被介质吸收 ( $\Phi_a$ )，如图 7.2-5 所示。根据能量守恒定律，入射光通量 ( $\Phi_i$ ) 应等于上述三部分光通量之和

$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_t + \Phi_a \quad (7.2-8)$

将反射光通量与入射光通量之商，定义为反射比 (反、射系数)，

以  $\rho$  表示

$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad (7.2-9)$

透射光通量与入射光通量之商，定义为透射比 (透射系数)，以  $\tau$  表示

$\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} \quad (7.2-10)$

被吸收的光通量与入射光通量之商，定义为吸收比 (吸收系数)，以  $\alpha$  表示

$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad (7.2-11)$

于是

$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (7.2-12)$

表 7.2-3 列有照明工程常用材料的  $\rho$  和  $\tau$  值，可供比较参考。

表 7.2-3 照明工程常用材料的  $\rho$  和  $\tau$  值

序号	材料名称	颜色	厚度 (mm)	$\rho$	$\tau$
1	透光材料				
	普通玻璃	无	3~6	0.08	0.78~0.82
	钢化玻璃	无	5~6	0.08	0.78
	磨砂玻璃 (花纹深密)	无	3~6	—	0.55~0.60
	乳白玻璃	白	1	—	0.60
	有机玻璃	无	2~6	—	0.85
	双层隔热玻璃 (空气层 5mm)	无	3+5+3	—	0.64
	聚苯乙烯板	无	3	—	0.78
	聚氯乙烯板	本色	2	—	0.60
	聚碳酸酯板	无	3	—	0.74
	铁窗纱	绿	—	—	0.70
2	建筑饰面材料				
	大白粉刷	白	—	0.75	—
	乳胶漆	白	—	0.84	—

续表

序号	材料名称	颜色	厚度 (mm)	$\rho$	$\tau$
2	调和漆	白、米	—	0.70	—
		黄	—	0.57	—
	普通砖	中黄	—	0.33	—
	水泥砂浆抹面	红	—	0.32	—
	混凝土地面	灰	—	0.20	—
	水磨石地面	深灰	—	0.66	—
		白间绿	—	0.52	—
	大理石	白间黑	—	0.60	—
	胶合板	灰	—	0.58	—
3	金属材料及饰面	白色	—	—	—
	光学镀膜的玻璃	本色	—	0.88~0.99	—
	阳极氧化光学镀膜的铝板		—	0.75~0.99	—
	铝板抛光	—	—	0.83~0.87	—
	酸洗铝板	—	—	0.70~0.85	—
	镀铬钢板	—	—	0.60~0.65	—
	不锈钢板	—	—	0.72	—
	搪瓷	—	—	0.65~0.80	—
		—	—	—	—
		白	—	—	—

在照明工程应用中，经常要参考反映材料反光和透光能力的上述定量参数，同时还需要深入了解不同材料反射光或透射光的分布形态，以求在光环境设计中正确运用材料的控光性能，获得预期的照明效果。

1.3.1 反射

辐射由一个表面返回，组成辐射的单色分量的频率没有变化，这种现象叫做反射。反射光的强弱与分布形式取决于材料表面的性质，也同光的入射方向有关。

反射光的分布形式基本分为规则反射、扩散反射和漫反射三类。大多数材料兼有其中两种分布形式，称为复合反射。

(1) 规则反射

规则反射也叫镜反射，其特征是光线经过反射之后仍按一定的方向传播，立体角没有变化。规则反射的规律为：①入射光线与反射光线以及反射表面的法线同处于一个平面内；②入射光与反射光分居法线两侧，入射角等于反射角 [见图 7.2-6 (a)]。

光滑密实的表面，如玻璃镜面和抛光的金属表面形成规则反射。在照明工程中常利用规则反射进行精确的控光，如制造各种曲面的镜面反光器控制光的分布并提高灯具效率。几乎所有的节能灯具都使用这类材料做反光器。属于规则反射的材料有阳极氧化或抛光的铝板、不锈钢板、镀铬钢板、镀银或镀铝的玻璃和塑料等。

(2) 扩散反射

扩散反射保留了规则反射的某些特性，即在产生规则反射的方向上，反射光最强，但是反射光束被“扩散”到较宽的范围 [见图 7.2-6 (b)]，经过冲砂、酸洗或锤点处理的毛糙金属表面具有定向扩散反射的特性。

(3) 漫反射

漫反射的特点是反射光的分布与入射光方向无关，在宏

观上没有规则反射成分,反射光不规则地分布在所有方向上[见图7.2-6(d)]。无光泽的毛面材料或由微细的晶粒、颜料颗粒构成的表面产生漫反射。

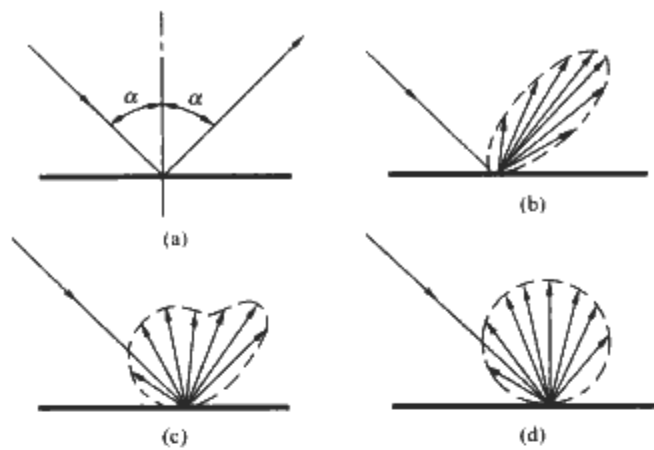


图 7.2-6 反射光的分布类型  
(a) 规则反射; (b) 定向扩散反射;  
(c) 混合反射; (d) 均匀漫反射

无论入射光来自什么方向,漫反射光的光强分布正好是切于入射光线与反射表面交点的一个圆球,这种漫反射也叫均匀漫反射。其反射光的最大光强处在垂直于表面的法线方向,其余方向的光强同最大光强有以下关系(见图7.2-7)

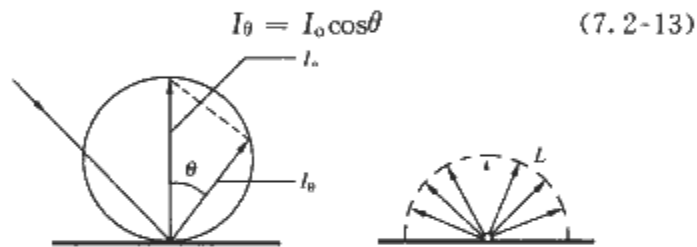


图 7.2-7 均匀漫反射材料的光强与亮度分布

式中,  $I_\theta$  为反射光与表面法线夹角为  $\theta$  方向的光强;  $I_0$  为反射光在反射表面法线方向的最大光强。

上式称为朗伯余弦定律。符合朗伯余弦定律的材料叫做朗伯体。这类材料无论入射光的方向如何,其表面各方向上的亮度都是相等的。氧化镁、硫酸钡、石膏等具有这种特性。建筑工程常用的大部分无光泽饰面材料,如粉刷涂料、乳胶漆、无光塑料墙纸、陶板面砖等都可以近似地看作均匀漫反射材料。

按照朗伯定律可以导出由照度计算漫反射材料表面亮度的简便公式如下

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \quad (7.2-14)$$

同样,对均匀漫透射材料,有

$$L = \frac{\tau E}{\pi} \quad (7.2-15)$$

式中,  $L$  为反射光或透射光表面亮度;  $\rho$  为材料反射比;  $\tau$  为材料透射比;  $E$  为材料表面的照度。

上式是光环境设计中常用的平均亮度计算公式。

#### (4) 复合反射

多数的材料表面兼有规则反射和漫反射、规则反射和扩散反射或扩散反射与漫反射的特性[见图7.2-6(c)],称为复合反射。光亮的搪瓷表面呈现漫反射与镜面反射结合的特性。在漫反射表面涂一层薄的透明清漆,当光入射角很小时,近似漫反射;入射角加大,约有5%~15%的入射光为镜面反射;入射角很大时,则完全是镜面反射。

#### 1.3.2 透射

光线通过介质,组成光线的单色分量频率不变,这种现象称为透射。玻璃、晶体、某些塑料、纺织品、水等都是透

光材料,能透过大部分入射光。材料的透光性能不仅取决于它的分子结构,还同它的厚度有关。非常厚的玻璃或水将是不透明的,而一张极薄的金属膜或许是透光的,至少可以是半透光的。

材料透射光的分布形式也可分为规则透射、扩散透射、漫透射和复合透射4种形式(见图7.2-8)。透明材料属于规则透射,在入射光的背侧,光源与物像清晰可见。磨砂玻璃为典型的扩散透射,在背光的一侧仅能看见光源模糊的影像。乳白玻璃具有均匀漫透射的特性,整个透光面亮度均匀,完全看不见玻璃背后的光源和物像。如果在透明玻璃上均匀地喷一层薄薄的白漆,漫透射形成的表面亮度相当均匀,同时透过玻璃能清晰看到其背后白炽灯灯丝的影像,这是镜反射与漫反射合成的复合透射。

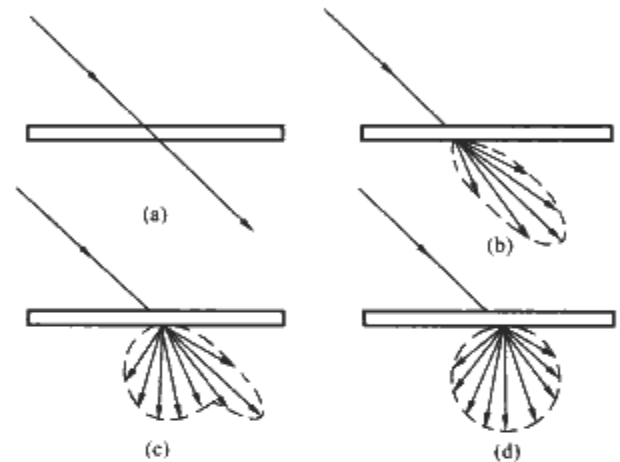


图 7.2-8 透射光的分布  
(a) 规则透射; (b) 扩散透射; (c) 复合透射; (d) 漫透射

#### 1.3.3 折射

光在透明介质中传播,当从密度小的介质进入密度大的介质时,光速减慢;反之,光速加快。由于光速的变化而造成光线方向的改变,这就是折射。

光的折射规律是:①入射线、折射线与分界面的法线同处于一个平面内,且分居于法线的两侧;②入射角正弦和折射线正弦的比值,对确定的两种介质来说,是一个常数。

$$\frac{\sin i}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} \quad (7.2-16)$$

上式也可以写成  $n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma$

式中,  $n_1$  为第一种介质的折射率;  $n_2$  为第二种介质的折射率;  $i$  为入射角(见图7.2-9);  $\gamma$  为折射角。

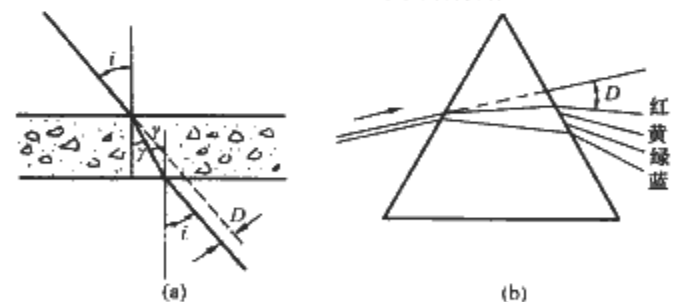


图 7.2-9 光的折射

(a) 光通过平行表面的折射; (b) 光通过三角形棱镜的折射

由式(7.2-16)可以看出,光线通过两种介质的界面时,在折射率大的一侧,光线与法线的夹角较小。利用折射能改变光线方向的原理制成的折光玻璃砖、各种棱镜灯罩,能精确地控制光分布(见图7.2-10)。

此外,当一束白光通过折射棱镜时,由于组成白光的单色光频率不同,则因折射而分离成各种颜色,称为色散。有金属镀膜的磨光玻璃灯饰部件,就是因为色散而呈现出五光十色,装饰效果华丽夺目。



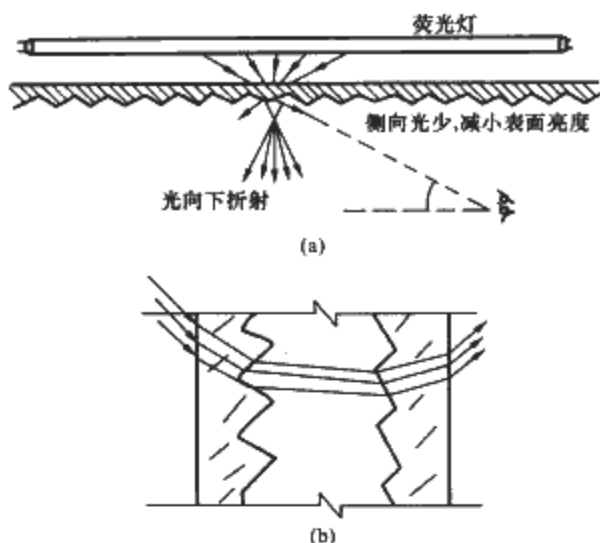


图 7.2-10 光折射的应用  
(a) 棱镜玻璃灯罩; (b) 折光玻璃砖

### 1.3.4 全反射

当入射到一个透明材料表面的光线入射角  $\theta_i$  的正弦  $\sin\theta_i$  值大于材料折射率比  $n_2/n_1$  时, 就会在透明材料表面产生全反射; 其中  $n_1$  为透明材料 (例如玻璃) 的折射率,  $n_2$  为空气的折射率 (见图 7.2-11)。大多数玻璃在  $\sin\theta_i$  等于 0.66 时出现全反射, 也就是入射角等于和大于  $41.8^\circ$  时都会出现全反射。光纤照明系统就是利用这个原理传输光线。

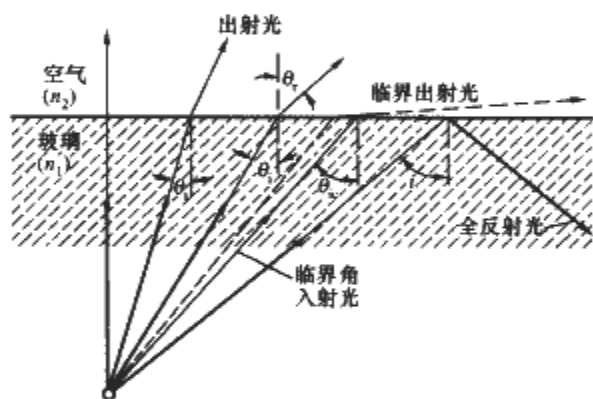


图 7.2-11 全反射

## 2 光和视觉

### 2.1 视觉系统的构造

#### 2.1.1 视觉

视觉活动与人的所有知觉一样, 不仅需要某种外界条件对神经系统的刺激, 而且需要大脑对由此产生的神经脉冲信号进行解释与判断。因此, 视觉不是简单的“看”, 它包含着“看”与“理解”。

视觉形成的过程可分解为四个阶段:

- 1) 光源 (太阳或灯) 发出光辐射。
- 2) 外界景物在光的照射下产生颜色、明暗和形体的差异, 相当于形成二次光源。
- 3) 二次光源发出不同强度、颜色的光信号进入人眼瞳孔, 借助眼球调视, 在视网膜上成像。
- 4) 视网膜上接收的光刺激 (即物像) 变为脉冲信号, 经视神经传给大脑, 通过大脑的解释、分析、判断而产生视觉。

上述过程表明, 视觉的形成既依赖于眼睛的生理机能和大脑积累的视觉经验, 又和照明状况密切相关。人的眼睛和视觉, 就是长期在自然光照射下演变进化的。

#### 2.1.2 眼睛

眼睛是一个直径约 25mm 的球状体 (见图 7.2-12)。它

有一个外保护层, 位于眼球前方的部分是透明的, 叫做角膜。角膜的背后是虹膜, 虹膜是一个不透明的“光圈”, 中央有一个洞叫做瞳孔, 光线经过瞳孔进入眼睛。瞳孔的大小是可变的: 视野的亮度增高, 瞳孔变小; 亮度减小, 瞳孔放大。瞳孔直径的变化范围为 2~8mm (面积比为 1:16)。虹膜后面的晶状体起调焦成像作用, 能自动改变焦距, 保证在远眺或近视时都能在视网膜上形成清晰的像。这个调焦过程称为调视。

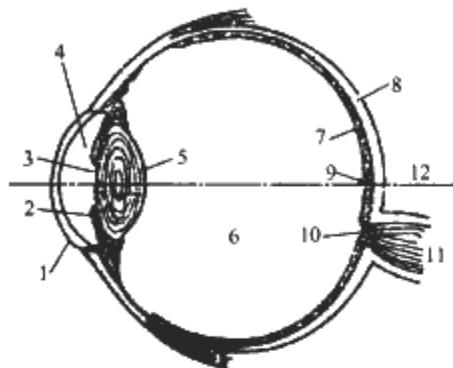


图 7.2-12 人眼剖面图

- 1—角膜; 2—虹膜; 3—瞳孔; 4—前房; 5—晶状体;  
6—玻璃体; 7—视网膜; 8—脉络膜; 9—中央凹;  
10—盲点; 11—视神经; 12—视轴

眼球内壁约 2/3 的面积为视网膜。在视网膜与水晶体之间充满了胶状透明的玻璃体, 使两者之间保持一定的间隔。视网膜是眼睛的感光部分, 它有多层结构。从光的人射方向看, 感光细胞位于视网膜的外侧。感光细胞有两种, 分别为锥体细胞和杆体细胞。视网膜上约有 1.1 亿~1.3 亿个杆体细胞, 600 万~700 万个锥体细胞。锥体细胞密集地分布在视网膜中心区与视轴交点的中央凹附近, 这里每个锥体细胞几乎都有一根单独的神经纤维与大脑相连。所以, 物像落在中心凹上, 分辨力最强。离开中央凹区域, 锥体细胞急剧减少, 杆体细胞逐渐增多。因为神经节细胞数目有限, 所以杆体细胞只能数十个、甚至数百个与一个神经节细胞相连, 这种分布与结构决定了杆体细胞主要接受外围视野的信息。一旦发现了目标, 眼睛 (有时连头) 就会习惯性地转动, 使最想看清的东西成像在中心凹上, 以发挥最好的视力。

杆体细胞对于光非常敏感, 但是不能分辨颜色。在眼睛能够感光的亮度阈限 (约为  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>) 到 0.03cd/m<sup>2</sup> 左右的亮度水平, 主要是杆体细胞起作用, 称为暗视觉。在暗视觉条件下, 景物看起来总是模糊不清, 灰茫茫一片。

锥体细胞对于光不甚敏感, 在亮度高于 3cd/m<sup>2</sup> 的水平时, 锥体细胞才充分发挥作用, 这时称为明视觉。锥体细胞有辨认细节和分辨颜色的能力, 这种能力随亮度增高而达到最大。所有的室内照明, 都是按明视觉条件设计的。

当适应亮度处在 0.03~3cd/m<sup>2</sup> 之间时, 眼睛处于明视觉和暗视觉的中间状态, 称为中间视觉。一般道路照明的亮度水平, 相当于中间视觉的条件。

### 2.2 视觉特性

#### 2.2.1 亮度阈限

对于在眼中长时间出现的大目标, 视觉阈限亮度为  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>。在呈现时间少于 0.1s, 视角不超过  $1^\circ$  条件下, 其视觉阈限值遵守里科定律, 即亮度×面积=常数。也遵守邦森-罗斯科定律, 即亮度×时间=常数。这就是说, 目标越小, 或呈现时间越短, 越需要更高的亮度才能引起视知觉。视觉可以忍受的亮度上限约为  $10^6$  cd/m<sup>2</sup>, 超过这个数

值,视网膜就会因辐射过强而受到损伤。实际上,我们日常看到的自然景物亮度差别一般是在1:1000以内。

### 2.2.2 光量效应——韦伯定律

韦伯通过心理物理实验研究了视觉对光刺激变化的反应。他把用仪表测得的照明量称为“刺激”,这是一个客观物理量;把人眼可以感知的光刺激变化称为“感觉”,这是一个主观心理量。他发现刚能察觉的光刺激变化同刺激水平存在一定的关系,即刚能察觉的刺激变化差值是刺激水平的一个常数,用数学式表达为

$$\frac{\Delta I}{I} = K(\text{常数}) \quad (7.2-17)$$

这就是心理物理学的一个著名定律——韦伯定律。它不是一个严密精确的公式,但却阐明了主观感觉与外界刺激间的关系,对照度等级的划分有指导意义。例如,在一个照度为10lx的房间里,增加1lx的照度刚刚能察觉出变化;那么,在另一个照度水平为100lx的房间里,就需要增加10lx的照度才能刚刚察觉出有照度的变化两者的比率都是0.1。

### 2.2.3 视野

当头和眼睛不动时,人眼能察觉到的空间范围叫视野(见图7.2-13)。单眼的综合视野(单眼视野),在垂直方向的角度约130°,水平方向约180°。两眼同时能看到的视野(双眼视野)较小一些,约占总视野中120°的范围。视线周围1°~1.5°内的物体能在视网膜中心凹成像,清晰度最高,这部分称为中心视野;中心视野以外的部分称为周围视野。视线周围30°的视野范围内,清晰度比较好。

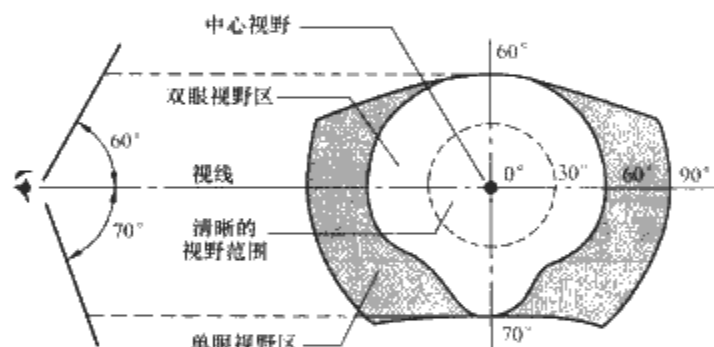


图 7.2-13 视野范围

### 2.2.4 对比感受性（对比敏感度）

目标和背景之间在亮度或颜色上的差异,是人们在视觉上能认知世界万物的基本条件。前者为亮度对比,后者为颜色对比(包含了亮度差异)。

亮度对比,是视野中目标和背景的亮度差与背景(或目标)亮度之比,符号为C,即

$$C = \frac{|I_o - I_b|}{I_b} \quad (7.2-18)$$

式中, $I_o$ 为目标亮度,一般面积较小的为目标; $I_b$ 为背景亮度,面积较大的部位做背景。

对于均匀照明的无光泽的背景和目标(漫反射材料),对比可用反射比表示为

$$C = \frac{|\rho_o - \rho_b|}{\rho_b} \quad (7.2-19)$$

式中, $\rho_o$ 为目标反射比; $\rho_b$ 为背景反射比。

人眼刚刚能够知觉的最小亮度对比,称为阈限对比,记作 $\bar{C}$ 。阈限对比的倒数,表示人眼的对比感受性,也称为对比敏感度,符号为 $S_c$ 。

$$S_c = \frac{1}{\bar{C}} = \frac{I}{\Delta I} \quad (7.2-20)$$

$S_c$ 不是一个固定不变的常数,它随照明条件而变化,同观察目标的大小和呈现时间也有关系。在理想条件下,视力好的人能够分辨0.01的亮度对比,也就是对比感受性最大可达到100。

图7.2-14说明对比感受性随背景亮度变化的相关关系。它是布莱克韦尔对一组20~30岁的青年做实验获得的平均结果。背景为均匀亮度的视场,采用4弧分的发光小圆盘作视标,视标呈现时间为0.1s。由曲线可以看到, $S_c$ 随 $L_b$ 加大而上升,到350cd/m<sup>2</sup>左右接近最大值。此后 $S_c$ 上升比较缓慢,当背景亮度超过5000cd/m<sup>2</sup>时,由于形成眩光 $S_c$ 反而下降。

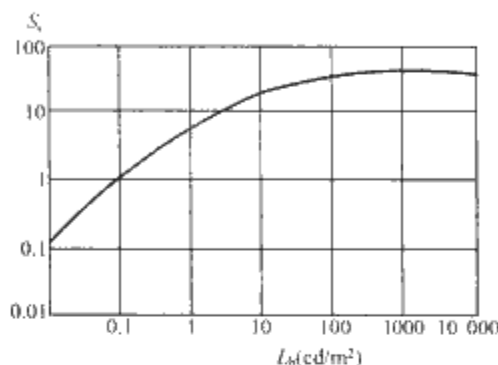


图 7.2-14 对比感受性与背景亮度的关系

### 2.2.5 视觉敏锐度

人凭借视觉器官辨认目标或细节的敏锐程度称为视觉敏锐度,医学上称为视力。一个人能分辨的细节越小,它的视觉敏锐度就越高。在数量上,视觉敏锐度等于人眼刚能分辨的视角的倒数,即

$$V = \frac{1}{\alpha_{\min}} \quad (7.2-21)$$

物体大小(或其中某细节的大小)对眼睛形成的张角,叫做视角。在图7.2-15中, $d$ 代表目标大小, $l$ 是由眼睛到该目标的距离,视角 $\alpha$ 用下式计算

$$\alpha = \arctan \frac{d}{l} \quad (7.2-22)$$

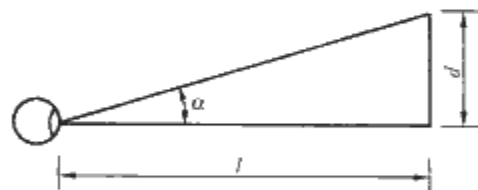


图 7.2-15 视角的定义

当 $\alpha$ 较小时,用近似公式

$$\alpha = \frac{d}{l} \quad (7.2-23)$$

通常用“分”为单位表示视角大小,于是

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \times 60 \times \frac{d}{l} = 3440 \frac{d}{l} \quad (7.2-24)$$

眼睛分辨细节的能力主要是中心视野的功能。这一能力因人而异,医学上常用兰道环或“E”形视标检验人的视



图 7.2-16 检验视力用的视标

力。从 5m 远的距离看视力表上的视标，当  $d=1.46\text{mm}$  时，视角恰好是 1 分。能分辨 1 分的视标缺口，视力等于 1，说明一个人的视力正常。如果仅能分辨 2 分的缺口，则视力等于  $1/2$ ，即 0.5。

视觉敏锐度随背景亮度、对比、细节呈现时间、眼睛的适应状况等因素而变化。在呈现时间不变的条件下，提高背景亮度或加强亮度对比，都能改善视觉敏锐度，看清视角更小的物体或细节。

2.2.6 视觉速度

从发现目标到形成视知觉需要一定的时间，这个时间的倒数，称为视觉速度 ( $1/t$ )。实验表明，在照度很低的情况下，视觉速度很慢；随着照度的增加 ( $100\sim1000\text{lx}$ )，视觉速度上升很快；但照度在  $1000\text{lx}$  以上时，视觉速度的变化就不明显了。

2.2.7 视觉能力的个人差异

如同人在智力、体力和听力等方面存在个人差异一样，视觉能力也因人而异。视觉能力取决于眼睛光学系统各部件的形状和透明度，眼睛的调视能力及视网膜的光谱灵敏度等因素。中年以后，视觉能力随年龄增长而衰退是普遍的现象。这是因为老年人眼睛的水晶体硬化，弹力减弱，调视能力下降。同时，眼球的透光比降低，角膜与水晶体的散光加重，对于眩光也更敏感了。据调查，60 岁老人的视力只有 20~30 岁年轻人的  $1/3$ 。因此，老年人比年轻人需要照度水平更高的无眩光的照明。

2.3 视觉功效

人借助视觉器官完成视觉作业的效能，叫做视觉功效 (Visual Performance)。一般用完成视觉作业的速度和精度来定量评价视觉功效。它既取决于作业固有的特性 (大小、形状、位置、细节与背景的颜色和反射比)，也取决于照明。

作业可见度是作业可以被看清的难易程度、速度和精确度的指标，因而可以将它看作是视觉功效潜力。

为获得满意的视觉功效，需要良好的作业可见度。作业可见度取决于许多因素，包括：①细节的表观尺寸 (视角大小)；②细节的亮度与颜色；③适应亮度；④细节与背景之间的亮度对比与颜色对比；⑤可利用的观察时间；⑥观察者的视觉能力；⑦细节的形状；⑧细节与其他细节或贴邻环境之间在形状和质地上的差别；⑨预先是否了解细节何时在视野中出现；⑩细节在视野中的位置及对这项视觉作业的经验。

在上述诸因素中，除去个人因素外，客观上主要是作业细节的大小、对比、呈现时间与亮度对可见度起决定性作用。图 7.2-17 是用朗道尔环作视标，经实验获得的中国青年工人的视觉功效曲线，说明完成标准作业所需照度与亮度对比和作业细节视角之间的关系 (识别概率 95%)。

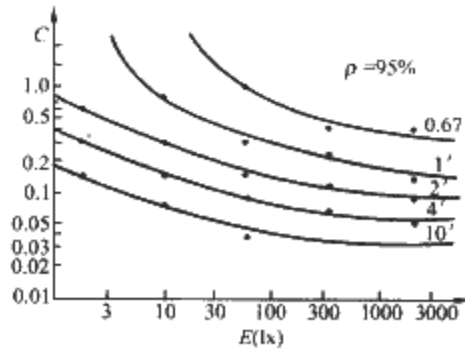


图 7.2-17 中国青年工人的视觉功效曲线 ( $p$  为识别概率)

3 颜色

3.1 颜色的特性

3.1.1 颜色的形成

颜色来源于光。可见光包含的不同波长单色辐射在视觉上反映出不同的颜色。表 7.2-4 是各种颜色的波长和光谱的范围。在两个相邻颜色范围的过渡区，人眼还能看到各种中间颜色。

一个光源发出的光辐射经常是由许多不同波长单色辐射组成的，每个波长的辐射功率也不一样。光源的各单色辐射功率按波长的相关分布称作光源的光谱功率分布 (或称光谱能量分布)，它决定了光的颜色特性。

图 7.2-18 是日光、天空光、白炽灯和荧光灯几种光源的相对光谱功率分布曲线。

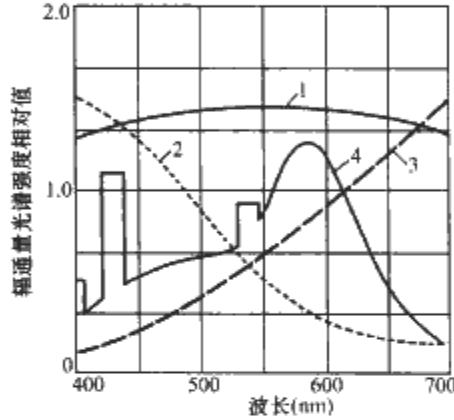


图 7.2-18 不同光源的光谱功率分布  
1-日光；2-晴天天空光；  
3-白炽灯；4-荧光灯

表 7.2-4 各种颜色的波长及光谱范围

颜色	波长 (nm)	范围 (nm)
红	700	640~750
橙	620	600~640
黄	580	550~600
绿	510	480~550
蓝	470	450~480
紫	420	400~450

物体色是物体对光源的光谱辐射有选择地反射或透射对人眼所产生的感觉。例如，用白光照射某一表面，它吸收白光中包含的绿光和蓝光，反射红光，这一表面就呈红色。若用蓝光照射同一表面，它将呈现黑色，因为光源中没有红光成分。反之，若用红光照射该表面，它将呈现出鲜艳的红色。这个例子说明，物体颜色不仅取决于物体表面的光谱反射性能，光源的光谱组成对于显色也是至关重要的。

3.1.2 颜色的分类

颜色包含有彩色和无彩色两大类。任何一种有彩色的表现颜色，都可以按照三个独立的主观属性分类描述，这就是色调 (也称色相)、明度和彩度 (也叫饱和度)。

色调是各种有彩色彼此区分的特性。可见光谱不同波长的辐射，在视觉上表现为各种色调，如红、橙、黄、绿、蓝等。各种单色光在白色背景上呈现的颜色，就是光谱色的色调。

明度是指颜色相对明暗的特性，彩色光的亮度越高，人眼越感觉明亮，它的明度就越高。物体色的明度则反映为光



表 7.2-5 孟塞尔明度值与光反射比的对应关系

孟塞尔明度值	光反射比	孟塞尔明度值	光反射比
10.0	100.0	5.0	19.3
9.5	87.8	4.5	15.2
9.0	76.7	4.0	11.7
8.5	66.7	3.5	8.8
8.0	57.6	3.0	6.4
7.5	49.2	2.5	4.5
7.0	42.0	2.0	3.0
6.5	35.3	1.5	2.0
6.0	29.3	1.0	1.2
5.5	24.0	0	0

美国国家标准局和美国光学学会提供权威的孟塞尔颜色样品。1974 年该机构新版《孟塞尔颜色图册》共有光泽颜色样品 1450 块,无光泽颜色样品 1150 块,中性色(无彩色)样品 69 块。某一待测表面色的孟塞尔颜色标号是在规定的标准光源照明下(用 D65 标准灯或以北向天空光照明),通过与颜色样品目视对比后确定的。

3.2.2 CIE1931 标准色度系统

这个系统的特点是用严格的数学方法来计算和规定颜色。使用这一系统,任何一种颜色都能用两个色坐标值在色度图上表示出来。国际照明委员会(CIE)1931 年推荐的“CIE 标准色度系统”是以两个事实为根据:第一,任何一种光的颜色都能用红、绿、蓝三原色的光匹配出来;第二,大多数人具有非常相似的颜色视觉。基于上述事实,CIE 根据 2° 视场观察条件下光谱色匹配的实验结果,规定了标准色度观测者的三条相对光谱灵敏度曲线(见图 7.2-22),也叫“CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值”,以符号  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  表示。它们分别代表匹配各波长纯光谱色所需要的红、绿、蓝三原色的量。若想获得某一波长  $(\lambda)$  的光谱色,可从曲线或数表中查得相应的  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  三刺激值,按  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  数量的红、绿、蓝设想原色相加,便能得到该光谱色。

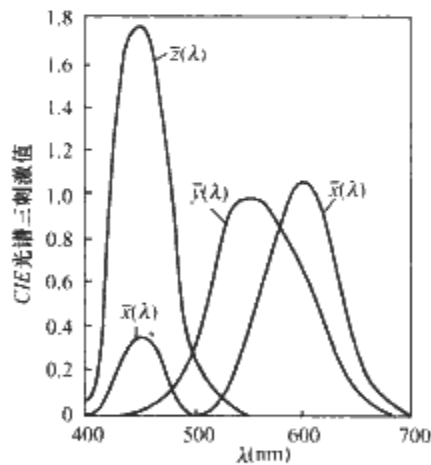


图 7.2-22 CIE1931 标准色度  
观测者光谱三刺激值

根据 CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值,可以进一步求出匹配任何一种光源色的颜色三刺激值,它们分别以  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  表示,有

$$\left. \begin{aligned} X &= k \sum \Phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \\ Y &= k \sum \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \\ Z &= k \sum \Phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \end{aligned} \right\} \quad (7.2-25)$$

● 照明体是指为色度计算而设定的光谱功率分布,不一定有实现这一光谱功率分布的真实光源。CIE 标准照明体包括标准照明体 A、C、D65 等,CIE 分别规定了它们的光谱功率分布值。

式中, $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为某光源色的三刺激值; $\Phi(\lambda)$  为波长间隔为  $\Delta\lambda$  的光通量,由该光源的光谱功率分布决定; $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  为 CIE 标准色度观察者光谱三刺激值; $k$  为调整因数,由式 (7.2-25),令  $Y=100$ ,得

$$k = \frac{100}{\sum \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda}$$

在 CIE1931 标准色度系统中,颜色的色坐标分别是每一刺激值在三刺激值总和中所占的比例,以  $x$ 、 $y$ 、 $z$  表示。于是

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \end{aligned} \right\} \quad (7.2-26)$$

显然, $x+y+z=1$ , $z=1-(x+y)$ ;因此,通常只要给出  $x$ 、 $y$  两个坐标值就够了。

物体色也可以按照上述程序和公式求出色坐标,但计算时必须先指定一种光源或选一种标准照明体<sup>●</sup>,因为在不同照明条件下,物体色会发生变化,色坐标也就有所不同。此外,还需要知道物体的光谱反射比  $\rho(\lambda)$ ,或光谱透射比  $\tau(\lambda)$ (用于透光材料),或物体的光谱辐亮度因数  $\beta(\lambda)$ (用于光泽表面)。计算物体色三刺激值时,式(7.2-25)中的  $\Phi(\lambda)$  按下式计算

$$\Phi(\lambda) = \rho(\lambda) S(\lambda) \quad (7.2-27a)$$

或 
$$\Phi(\lambda) = \tau(\lambda) S(\lambda) \quad (7.2-27b)$$

或 
$$\Phi(\lambda) = \beta(\lambda) S(\lambda) \quad (7.2-27c)$$

式中, $S(\lambda)$  为所选光源或照明体的相对光谱功率分布。

如果每种颜色都能用两个坐标表示,那么,所有的颜色都可以体现在一张平面图上。CIE 1931 色度图(或称色品图)就是这样一张直角坐标图(见图 7.2-23)。它的  $x$  色坐标相当于红原色的比例, $y$  色坐标相当于绿原色的比例。图上的马蹄形曲线是单一波长的光谱色轨迹,标注了相应的波长。连接 400nm 与 700nm 的由紫到红的直线是光谱上没有的颜色,称为紫红线。凡物理上能够实现的颜色,都在这个马蹄形内占有位置。

色度图的中心 E 点是等能白光,由各 1/3 的三原色组成,其色坐标为

$$x_E = y_E = z_E = 0.3333$$

在色度图上,一种颜色的坐标点距光谱轨迹越近,距 E 点越远,它的彩度越高,颜色越纯;反之,距 E 点越近,彩度越低,颜色越淡。将颜色坐标点与 E 点连直线并延长至光谱轨迹上,其交点即这种颜色的主波长,由主波长可以判断出它的色调。

3.3 与颜色有关的照明参量

在照明工程中,与颜色有关的照明参量主要是光源的色表和显色性。



3.3.1 光源的色表

光源的色表，即灯光的表现颜色。在照明应用领域里，常用色温定量描述光源的色表。当一个光源的颜色与完全辐射体（黑体）在某一温度时发出的光色相同时，完全辐射体的温度就叫做此光源的色温，用符号  $T_c$  表示，单位是 K（热力学温度）。

完全辐射体也称黑体。它是既不反射，也不透射，能把投射在它上面的辐射全部吸收。黑体加热到高温便产生辐射，黑体辐射的光谱功率分布完全取决于它的温度。在 800~900K 温度下，黑体辐射呈红色，3000 K 为黄白色，5000K 左右呈白色，在 8000~10 000K 之间为淡蓝色。不同温度下黑体辐射的色坐标点连成一条曲线，画在 CIE 色度图（见图 7.2-23）上，叫做黑体轨迹或普朗克轨迹。

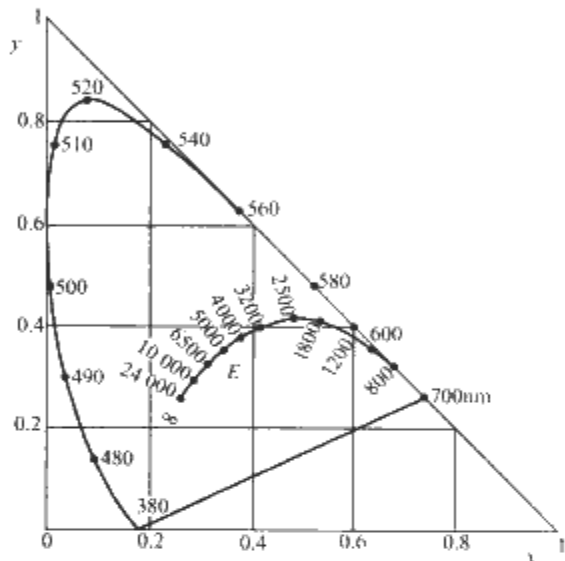


图 7.2-23 CIE1931 色度图

热辐射光源，如白炽灯，其光谱功率分布与黑体辐射非常相近，都是连续光谱。白炽灯的色坐标点正好落在黑体轨迹上，因此，用色温来描述它的色表很恰当。

非热辐射光源，如荧光灯、高压钠灯，它们的光谱功率分布与黑体辐射相差甚大，其色坐标点不一定落在黑体轨迹线上，而常常在这条线的附近。严格地说，不应当用色温来描述这类光源的色表；但是允许用与某一温度黑体辐射最接近的颜色来近似地确定这类光源的色温，称为相关色温，以符号  $T_{cp}$  表示。图 7.2-24 画出了确定相关色温用的等温线与黑体轨迹。凡色坐标点位于黑体轨迹附近的光源，都可以自色坐标点沿着与最接近的等温线相平行的方向引一直线，此直线与黑体轨迹线交点所示的温度就是该光源的相关色温。表 7.2-6 列有若干光源的色温或相关色温以资比较。

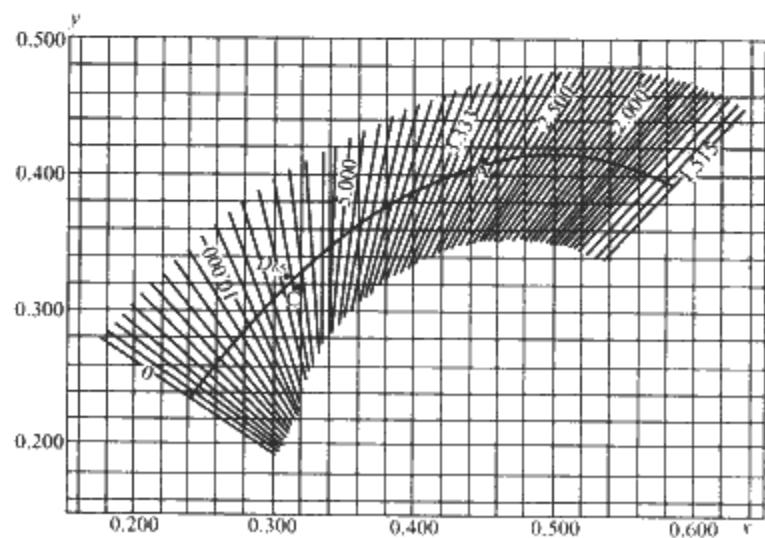


图 7.2-24 确定相关色温用的等温线与黑体轨迹

表 7.2-6 天然和人工光源的色温（或相关色温）

光源	色温（或相关色温）(K)
蜡烛	1900~1950
高压钠灯	2000
白炽灯	2700
卤钨灯	2800~2900
金属卤化物灯	4000
月光	4100
日光	5300~5800
昼光（日光+晴天天空）	5800~6500
全阴天空	6400~6900
晴天蓝色天空	10 000~26 000
荧光灯	3000~7500

3.3.2 光源的显色性

物体色随不同照明条件而变化。物体在待测光源下的颜色同它在参照光源下的颜色相比的符合程度，定义为待测光源的显色性。

参照光源，是人们相信它能呈现出物体“真实”颜色的光源。一般公认中午的日光是理想的参照光源。实际上，日光的光谱组成在一天中有很大的变化，但是这种大幅度的变化被人眼的颜色适应补偿了，所以人们觉察不到物体颜色的相应变化。因此，以日光作为评定人工照明光源显色性的参照光源还是合理的，不过前提条件是两者的色温要相近。

CIE 及我国制定的光源显色性评价方法，都规定相关色温低于 5000K 的待测光源以完全辐射体作为参照光源，它与早晨或傍晚时日光的色温相近；色温高于 5000K 的待测光源以组合昼光作为参照光源，它相当于中午的日光。在光源显色性评价方法中，给出了两种参照光源的光谱功率分布计算公式和数据。

光源显色性的优劣以显色指数定量评定，包括一般显色指数（符号  $R_a$ ）与特殊显色指数（符号  $R_i$ ）两组数据。 $R_a$  的确定方法，是以选定的一套共 8 个有代表性的色样（不同的色调，中等彩度）在待测光源与参照光源下逐一进行比较，确定每种色样在两种光源下的色差  $\Delta E_i$ ，然后按照约定的定量尺度，计算每一色样的特殊显色指数

$$R_i = 100 - 4.6 \Delta E_i \tag{7.2-28}$$

一般显色指数则是 8 个色样特殊显色指数的算术平均值。

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i \tag{7.2-29}$$

一般人工照明光源只用  $R_a$  作为评价显色性的指标就够了。在需要考察光源对特定颜色的显色性能时，尚可引用另外规定的 7 种色样中的一种或数种作为特殊显色指数评价指标。这 7 种检验色样分别是深红、深黄、深绿、深蓝、白种人肤色、叶绿色、中国女性肤色。

因为上述 15 种检验色样的光谱亮度系数与参照光源的光谱功率分布均已确定，所以只要知道待测光源的光谱功率分布（波长间隔 5nm 或 10nm）， $R_i$  和  $R_a$  就可以计算出来。

显色指数的最大值定为 100。一般认为  $R_a$  在 100~80 范围内，显色性优良； $R_a=79\sim50$ ，显色性一般； $R_a<50$ ，显色性较差。表 7.2-7 列有常用电光源的显色指数、色温及色坐标。



表 7.2-7 电光源的颜色指标

光源名称	CIE 色坐标	相关色温(K)	$R_a$
卤钨灯 (50W)	$x=0.447$ $y=0.408$	2900	95~100
荧光灯 (日光色 36W)	$x=0.310$ $y=0.339$	6600	70~80
荧光高压汞灯 (400W)	$x=0.334$ $y=0.412$	5500	30~40
金属卤化物灯 (1000W)	$x=0.369$ $y=0.367$	4000	65~85
高压钠灯 (400W)	$x=0.516$ $y=0.389$	2000	20~23

光源的色表与显色性都取决于光辐射的光谱组成。但是,不同光谱组成的光源可能具有相同的色表(同色异谱),而其显色性则有很大差异。同样,色表有明显区别的两个光源,在某种情况下还可能具有大体相等的显色性。所以,不可能从一个灯的色表得出有关它的显色性的任何判断。

## 第3章 照明质量 照明标准

### 1 照明质量

优良的室内照明质量由以下4个要素构成：

- 1) 适当的照度水平。
- 2) 舒适的亮度分布。
- 3) 宜人的光色和良好的显色性。
- 4) 没有眩光干扰。

#### 1.1 照度水平

##### 1.1.1 照度

为特定的用途选择适当的照度时，要考虑的主要因素有以下几项：

- 1) 视觉功效。
- 2) 视觉满意程度。
- 3) 经济发展水平和能源的有效利用。

对于非工业区，如交通区和休息空间，不能用视觉功效来确定照度水平，而应考虑定向和视觉舒适的要求。为选择最佳照度水平进行的大量现场评价和调研表明，就照明所创造的舒适和愉悦而言的视觉满意程度，是各类室内环境（包括工作环境）在选择适宜照度时必须考虑的重要附加因素。

在实际应用中，无论根据视觉功效还是从视觉满意角度选择照度，都要受经济条件和能源供应的制约。所以，综合上述三方面因素确定的照度标准往往不是理想的，而只能是适当的、折中的标准。

##### 1.1.2 照度均匀度

1) 室内照明并非越均匀越好，适当的照度变化能形成比较活跃的气氛。但是，工作岗位密集的房间也应保持一定的照度均匀度。

2) 室内照明的照度均匀度通常以一般照明系统在工作面上产生的最小照度与平均照度之比表示，它应不小于0.7。

3) 工作房间中非工作区的平均照度应不低于工作区平均照度的1/5。

4) 直接连通的两个相邻的工作房间的平均照度差别也应不大于5:1。

#### 1.2 亮度分布

室内的亮度分布是由照度分布和表面反射比决定的。视野内的亮度分布不适当会损害视觉功效，过大的亮度差别会产生不舒适眩光。

##### 1.2.1 作业区内的亮度比

与作业贴邻的环境亮度最好低于作业亮度，但应不小于作业亮度的2/3。此外，为作业区提供良好的颜色对比也有助于改善视觉功效，但应避免作业区的反射眩光。

##### 1.2.2 顶棚、墙和地面的适宜亮度

应统筹规划反射比和照度比，因为亮度与前两者的乘积成正比，所以它们的数值可以调整互补。工作房间环境亮度的控制范围见表7.3-1。

表 7.3-1 工作房间的表面反射比与照度比

表面名称	反射比	照度比 <sup>①</sup>
顶棚	0.60~0.90	0.20~0.90
墙	0.30~0.80	0.40~0.80
地面	0.10~0.50	0.70~1.00
工作面	0.20~0.60	1.00

① 给定表面照度与工作面照度之比。

非工作房间，特别是装修标准高的公共建筑厅堂的亮度分布，往往根据室内环境创意决定，其目的是突出空间或结构的形象特征，渲染环境气氛或是强调某种装饰效果。这类光环境亮度水平的选择和亮度图式的设计也要考虑视觉舒适感，但不受上述亮度比的限制。

#### 1.3 光源的色表和显色性

光源的颜色质量包含光的表观颜色及光源显色性能两个方面。

##### 1.3.1 光的表观颜色（色表）

色表通常用色温或相关色温描述。光源色表的选择主要取决于光环境所要形成的心理氛围和美学方面的考虑，与照度、房间和家具的颜色，环境气候及场所功能等因素有关。例如，含红光成分多的“暖”色灯光（低色温）接近日暮黄昏的情调，能在室内形成亲切轻松的气氛，适于休息和娱乐场所的照明；而需要集中注意力、精神振奋地进行工作的房间则采用较高色温的灯光为好。寒冷地区喜欢暖色的灯光，而炎热地区则偏爱较冷的光色。

CIE 建议将光源的色表分为三组，并提出典型的应用场所，见表7.3-2。

表 7.3-2 光源的色表分组

色表分组	色表特征	相关色温 (K)	适用场所举例
I	暖	<3300	客房、卧室、病房、酒吧、餐厅
II	中间	3300~5300	办公室、阅览室、教室、诊室、机加工车间、仪表装配
III	冷	>5300	高照度场所，热加工车间，或白天需补充自然光的房间

人对光色的爱好还同照度水平有相应的关系，表7.3-3给出各种照度水平下，不同色表的荧光灯照明所产生的一般印象。

表 7.3-3 各种照度下灯光色表给人的不同印象

照度 (lx)	灯光色表		
	暖	中间	冷
<500	舒适	中性	冷
500~1000	↑	↑	↑
1000~2000	刺激	舒适	中性
2000~3000	↑	↑	↑
>3000	不自然	刺激	舒适

1.3.2 光源显色性能

光源的显色性能取决于光源的光谱能量分布，对有色物体的颜色外貌有显著影响。CIE 用一般显色指数  $Ra$  作为表示光源显色性能的指标，它是根据规定的 8 种不同色调的孟塞尔标准色样，在被测光源和参照光源照明下的色位移平均值确定的。表 7.3-4 列出计算光源一般显色指数  $Ra$  用的标准色样。

表 7.3-4 孟塞尔标准色样		
号数	孟塞尔标号	日光下的颜色
1	7.5R6/4	淡灰红色
2	5Y6/4	暗灰黄色
3	5GY6/8	饱和黄绿色
4	2.5G6/6	中等黄绿色
5	10BG6/4	淡蓝绿色
6	5PB6/8	淡蓝色
7	2.5P6/8	淡紫蓝色
8	10P6/8	淡红紫色

$Ra$  的理论最大值为 100。  
CIE 将灯的显色性能分为 4 类，其中第 I 类又细分为 A、B 两组，并提出每类灯的适用场所，作为评估室内照明质量的指标，见表 7.3-5。

表 7.3-5 光源显色性分类				
显色性类别	显色指数范围	色表	应用示例	
			优先采用	容许采用
I A	$Ra \geq 90$	暖	颜色匹配	
		中间	医疗诊断、画廊	
		冷		
I B	$90 > Ra \geq 80$	暖	住宅、旅馆、餐馆	
		中间	商店、办公室、学校、医院、印刷、油漆和纺织工业	
		冷	视觉费力的工业生产	
II	$80 > Ra \geq 60$	暖 中间 冷	工业生产	办公室、学校
III	$60 > Ra \geq 40$		粗加工工业	工业生产
IV	$40 > Ra \geq 20$			粗加工工业、显色性要求低的工业生产、库房

1.4 眩光

如果灯、灯具、窗子或者其他区域的亮度比室内一般环境的亮度高得多，人们就会感受到眩光。眩光产生不舒适感，严重的还会损害视觉功效，所以工作房间必须避免眩光干扰。

1.4.1 直接眩光

它是由灯或灯具过高的亮度直接进入视野造成的。眩光效应的严重程度取决于光源的亮度和大小、光源在视野内的位置、观察者的实现方向、照度水平和房间表面的反射比等诸多因素，其中光源（灯或窗子）的亮度是最主要的。

(1) 灯具亮度限制曲线

CIE 曾推荐灯具亮度限制曲线（见图 7.3-1），作为评价一般室内照明灯具直接不舒适眩光的标准和方法。CIE 按限制直接眩光的不同要求分为 5 个质量等级，即 A—很高质量，B—高质量，C—中等质量，D—低质量，E—很低质量。

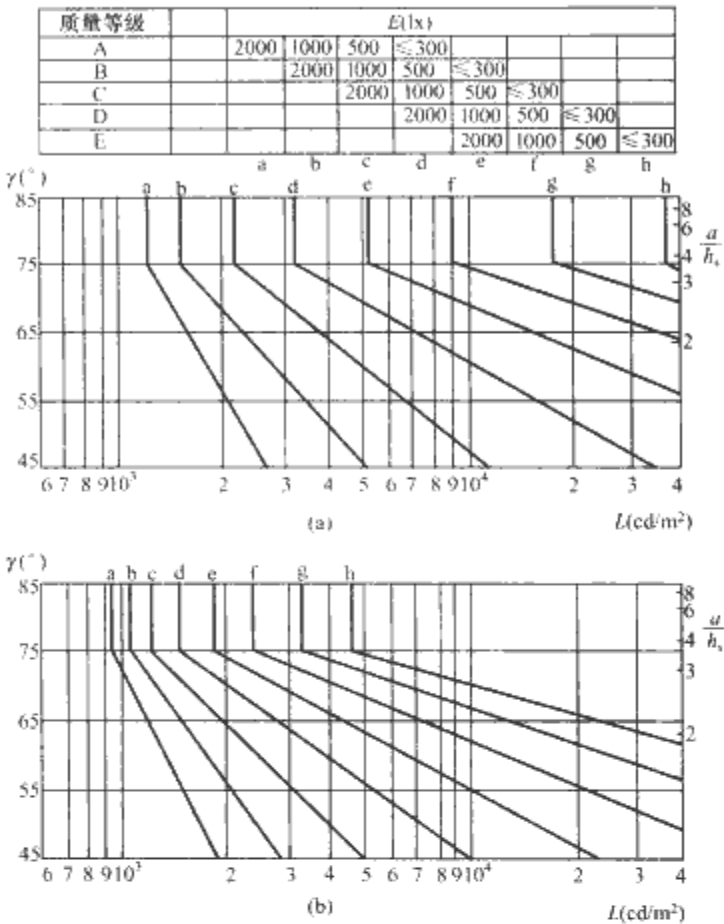


图 7.3-1 灯具亮度限制曲线

(a) 适用于：无发光侧面的所有灯具；从纵向看有发光侧面的长条形灯具；(b) 适用于：有发光侧面的所有非长条形灯具；从横向看有发光侧面的长条形灯具

根据确定的质量等级、照度水平、灯具类型和布灯方式，可以在图 7.3-1 (a) 或 (b) 两组灯具亮度曲线中选出一条合适的灯具亮度限制曲线。将此曲线同准备在设计中采用的灯具的平均亮度曲线进行对照检验，只要在最远端灯具下垂线以上  $45^\circ$  至临界角  $\gamma$ （见图 7.3-2）的范围内，灯具各个方上的平均亮度均小于限制曲线规定的亮度极限值，则限制直接眩光的要求即可满足。 $\gamma$  是灯具与眩光评价视点连线同灯具下垂线之间的夹角。

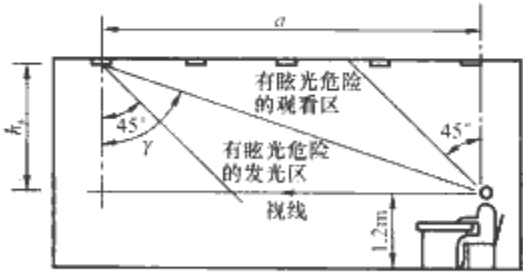


图 7.3-2 限制灯具亮度的眩光区

如果灯具平均亮度曲线与图 7.3-1 中所选的那条灯具亮度限制曲线有交叉，则自交点向右引平行线可找到对应的  $a/h_s$  值，只要最远处灯具与视点间水平距离  $a$  与灯具至眼睛的高度  $h_s$  之比小于该值，则在此范围内的灯具亮度低于限制亮度值，选用这种灯具不会产生超出相应质量等级允许的直接眩光。

图 7.3-1 (a) 中的曲线适用于评价无发光侧面的所有灯具，以及从纵向观看，有发光侧面的长条形灯具的眩光，即

图 7.3-3 (a) 中视线平行于  $C_{90}-C_{270}$  平面的情况。图 7.3-1 (b) 中的曲线则适用于评价有发光侧面的所有非长条形灯具, 以及从横向观看, 有发光侧面的长条形灯具的眩光, 从横向看即图 7.3-3 (b) 中视线平行于  $C_0-C_{180}$  平面的情况。长条形灯具是指发光面长宽比大于 2:1 的灯具。

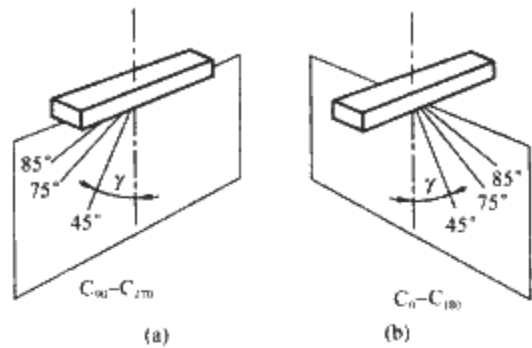


图 7.3-3 长条灯具的视看方向  
(a) 从纵向看; (b) 从横向看

上述评价室内直接不舒适眩光的方法仅适用于工作房间, 并有限定条件:

- 1) 房间形状为矩形平行六面体。
- 2) 灯具规则地排列在房间顶部, 且主轴与墙平行。
- 3) 眩光评价的视点在地面以上 1.2m 高度 (坐姿), 并贴近后墙居中。
- 4) 视线主要是水平的和向下的, 其方向与墙平行。
- 5) 顶棚反射比不小于 0.50, 墙和家具设备的反射比不小于 0.25。

此外, 发光顶棚或间接照明的顶棚表面在  $\gamma \geq 45^\circ$  方向上不宜超过  $500\text{cd}/\text{m}^2$ 。

除限制灯具亮度外, 对底面敞口和底部装透明灯罩的灯具, 还应检验其遮光角是否符合表 7.3-6 规定的要求。遮光角  $\alpha$  是光源发光体边沿一点和灯具出光口的连线延长线同水平线之间的夹角 (见图 7.3-4)。按照光源亮度规定的灯具最小遮光角列于表 7.3-6。

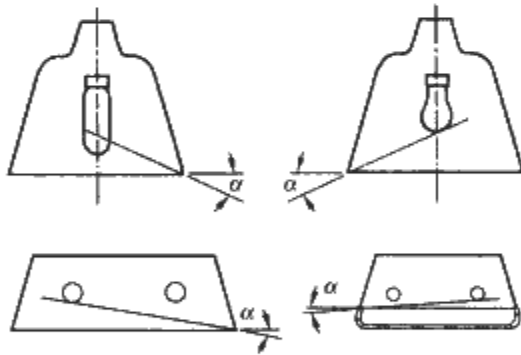


图 7.3-4 灯具的遮光角

表 7.3-6 灯具最小遮光角	
灯的亮度 ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )	最小遮光角
1~20	10°
20~50	15°
50~500	20°
>500	30°

(2) 统一眩光值 (UGR)

CIE 1995 年提出用 UGR 作为评定不舒适眩光的定量指标。UGR 方法综合了 CIE 和许多国家提出的眩光计算公式并加以简化, 同时, 其数值对应的不舒适眩光的主观感受与英国的眩光指数 BGI 一致 (见表 7.3-7), 这一方法得到世界各国的认同。

表 7.3-7 UGR 值对应的不舒适眩光的主观感受

UGR	不舒适眩光的主观感受
28	严重眩光, 不能忍受
25	有眩光, 有不舒适感
22	有眩光, 刚好有不舒适感
19	轻微眩光, 可忍受
16	轻微眩光, 可忽略
13	极轻微眩光, 无不舒适感
10	无眩光

1) UGR 计算公式。照明场所统一眩光值的计算公式如下

$$\text{UGR} = 8 \lg \frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \tag{7.3-1}$$

式中,  $L_b$  为背景亮度,  $\text{cd}/\text{m}^2$ ;  $L$  为每个灯具的发光部分在观察者眼睛方向上的亮度,  $\text{cd}/\text{m}^2$ ;  $\omega$  为每个灯具的发光部分对观察者眼睛形成的立体角,  $\text{sr}$ ;  $p$  为每个单独的灯具偏离视线的位置指数 (Guth 位置指数)。

计算一个场所照明的 UGR 涉及每个灯具的多项参数, 计算过程非常繁复, 通常都是用电脑进行计算。欧美通用的照明计算软件 DALux 和 AGI 以及 Philips 等著名照明厂商的专用照明设计软件都有 UGR 的计算程序。

UGR 不舒适眩光评价方法的应用有以下限制条件:

- ①UGR 适用于简单的立方体房间一般照明设计, 不适用于间接型照明和发光顶棚的不舒适眩光评价。
- ②灯具发光部分对眼睛形成的立体角在  $0.1\text{sr} > \omega > 0.0003\text{sr}$  的范围以内。
- ③灯具为双对称配光或全对称配光, 规则布置。
- ④观测位置通常在纵向、横向两面墙的中点, 视线水平, 朝前看。

2) UGR 曲线。为了便于设计人员理解和使用, CIE 还提供了 UGR 数表和 UGR 曲线。前者由公式计算生成, 不过仅适用于有限的简化计算条件; 曲线则忽略了房间特性对背景亮度的影响和灯具位置不同所产生的眩光差异, 因此会造成一些误差。但是, UGR 曲线的形式与用法同灯具亮度限制曲线非常相似, 容易掌握。

UGR 曲线方法也包含两张图表 (见图 7.3-5), 都适用在比较明亮的房间, 例如顶棚、墙面、地板空间反射比相应地分别为 0.7、0.5、0.2。

图表 I 用于对顶棚和墙只有少量照明或没有照明的灯具, 如某些镜面格栅灯具和下照式灯具, 有大到中等遮光角。

图表 II 用于宽光束灯具或有一些上射光照亮墙和顶棚的灯具, 如漫射材料的格栅灯、乳白灯罩或其他形式的灯具。

图表 I 和 II 都标明了 UGR 值分别为 13、16、19、22、25、28 的曲线, 这些曲线指的是平均 UGR 值。如果要求 UGR 最大值不大于上述某一限值, 则应避免灯具亮度曲线进入相应 UGR 曲线的阴影区。阴影区是由曲线上  $75^\circ$  的一点与低于该 UGR 值 3 个单位的相邻曲线上  $45^\circ$  的一点连线封闭而成的。

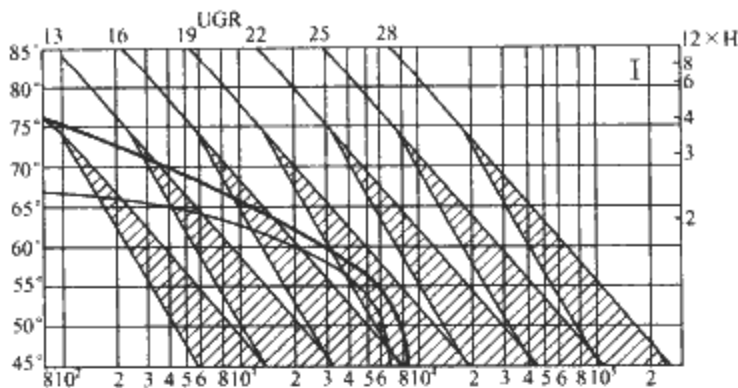


图 7.3-5 UGR 曲线

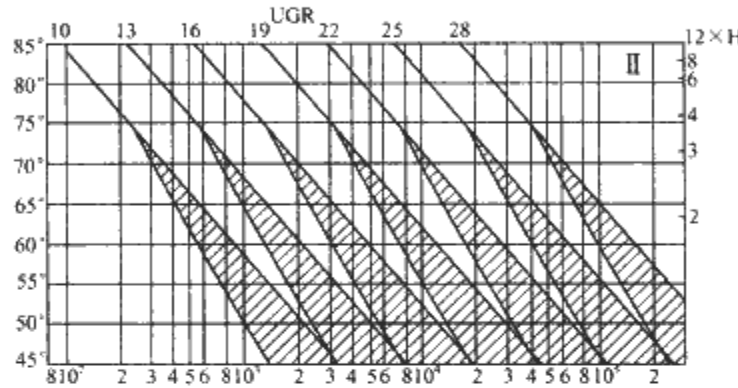


图 7.3-5 UGR 曲线

两张图表的 UGR 曲线用以下公式表示  
图 表 I :  $\lg L = (29 + UGR - 0.308\gamma) / 8$   
图 表 II :  $\lg L = (32 + UGR - 0.308\gamma) / 8$

式中,  $L$  为灯具亮度,  $\text{cd}/\text{m}^2$ ;  $\gamma$  为从灯具下垂线测量的角度。

1.4.2 反射眩光和光幕反射

它们是由光泽表面镜反射的高亮度造成的, 呈现在作业区以外的眩光称为反射眩光, 它对视觉造成干扰。在作业本身呈现的镜反射与漫反射重叠的现象称为光幕反射, 它使作业固有的亮度对比减弱, 视觉功效降低。

避免反射眩光和光幕反射的有效措施包括以下几种:

- 1) 正确安排照面光源和工作人员的相对位置, 使视觉作业的每一部分都不处于、也不靠近任何光源同眼睛形成的镜面反射角内。
- 2) 加强从侧面投射到视觉作业上的光线。
- 3) 选用发光面大、亮度低、宽配光, 但在临界方向亮度锐减的灯具 (如蝙蝠型配光的灯具)。
- 4) 顶棚、墙和工作面尽量选用无光泽的浅色饰面, 以减小反射的影响。

2 中国的照明标准

我国于 2004 年 12 月发布执行新的国家标准《建筑照明设计标准》(GB 50034—2004), 原有《民用建筑照明设计标准》(GBJ 133—1990) 及《工业企业照明设计标准》(GB 50034—1992) 随之废除。新标准参照 CIE 与 ISO 联合发布的标准《室内工作场所的照明》(CIE S 008/E2001 及 ISO 8995) 提出的模式, 详细规定了居住建筑及各类公共建筑、工业建筑不同房间或场所的照度标准值, 并对眩光和光源显色性提出了定量指标 UGR 及  $R_a$ 。新标准大幅度提高了照度水平, 基本上与国际接轨。

以下是《建筑照明设计标准》(GB 50034—2004) 的主要规定。

2.1 照度分级

照度标准值应按下列数值系列取值 (lx): 0.5, 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000。

2.2 照明标准值

本标准规定的照度值均为作业面或参考平面上的维持平均照度值。以下给出居住、公共、工业建筑以及公共场所的照明标准值。

2.2.1 居住建筑照明标准值

居住建筑照明标准见表 7.3-8。

表 7.3-8 居住建筑照明标准值				
房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值 (lx)	$R_a$
起居室	一般活动	0.75m 水平面	100	80
	书写、阅读		300 <sup>①</sup>	
卧室	一般活动	0.75m 水平面	75	80
	床头、阅读		150 <sup>①</sup>	
餐厅		0.75m 餐桌面	150	80
厨房	一般活动	0.75m 水平面	100	80
	操作台	台面	150 <sup>①</sup>	
卫生间		0.75m 水平面	100	80

① 宜用混合照明。

2.2.2 公共建筑照明标准值

公共建筑照明标准值见表 7.3-9~表 7.3-21。

表 7.3-9 图书馆建筑照明标准值				
房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值 (lx)	UGR	$R_a$
一般阅览室	0.75m 水平面	300	19	80
国家、省市及其他重要图书馆的阅览室	0.75m 水平面	500	19	80
老年阅览室	0.75m 水平面	500	19	80
珍善本、舆图阅览室	0.75m 水平面	500	19	80
陈列室、目录厅(室)、出纳厅	0.75m 水平面	300	19	80
书库	0.25m 垂直面	50	—	80
工作间	0.75m 水平面	300	19	80

表 7.3-10 办公建筑照明标准值				
房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值 (lx)	UGR	$R_a$
普通办公室	0.75m 水平面	300	19	80
高档办公室	0.75m 水平面	500	19	80

续表

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
会议室	0.75m 水平面	300	19	80
接待室、前台	0.75m 水平面	300	—	80
营业厅	0.75m 水平面	300	22	80
设计室	实际工作面	500	19	80
文件整理、复印、发行室	0.75m 水平面	300	—	80
资料、档案室	0.75m 水平面	200	—	80

表 7.3-11 商业建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
一般商店营业厅	0.75m 水平面	300	22	80
高档商店营业厅	0.75m 水平面	500	22	80
一般超市营业厅	0.75m 水平面	300	22	80
高档超市营业厅	0.75m 水平面	500	22	80
收款台	台面	500	—	80

表 7.3-12 影剧院建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
一般商店营业厅	0.75m 水平面	300	22	80
高档商店营业厅	0.75m 水平面	500	22	80
一般超市营业厅	0.75m 水平面	300	22	80
高档超市营业厅	0.75m 水平面	500	22	80
收款台	台面	500	—	80

表 7.3-13 旅馆建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
客房	一般活动区	0.75m 水平面	75	—	80
	床头	0.75m 水平面	150	—	80
	写字台	台面	300	—	80
	卫生间	0.75m 水平面	150	—	80
中餐厅		0.75m 水平面	200	22	80
西餐厅、酒吧间、咖啡厅		0.75m 水平面	100	—	80
多功能厅		0.75m 水平面	300	22	80
门厅、总服务台		地面	300	—	80
休息厅		地面	200	22	80
客房层走廊		地面	50	—	80
厨房		台面	200	—	80
洗衣房		0.75m 水平面	200	—	80

表 7.3-14 医院建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
治疗室	0.75m 水平面	300	19	80
化验室	0.75m 水平面	500	19	80
手术室	0.75m 水平面	750	19	90
诊室	0.75m 水平面	300	19	80
候诊室、挂号厅	0.75m 水平面	200	22	80
病房	地面	100	19	80
护士站	0.75m 水平面	300	—	80
药房	0.75m 水平面	500	19	80
重症监护室	0.75m 水平面	300	19	80

表 7.3-15 学校建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
教室	课桌面	300	19	80
实验室	实验桌面	300	19	80
美术教室	桌面	500	19	90
多媒体教室	0.75m 水平面	300	19	80
教室黑板	黑板面	500	—	80

表 7.3-16 博物馆建筑陈列室展品照明标准值

类 别	参考平面及其高度	照度标准值 (lx)
对光特别敏感的展品：纺织品、织绣品、绘画、纸质物品、彩绘、陶（石）器、染色皮革、动物标本等	展品面	50
对光敏感的展品：油画、蛋清画、不染色皮革、角制品、骨制品、象牙制品、竹木制品和漆器等	展品面	150
对光不敏感的展品：金属制品、石质器物、陶瓷器、宝玉石器、岩矿标本、玻璃制品、搪瓷制品、珐琅器等	展品面	300

注 1. 陈列室一般照明应按展品照度值的 20%~30% 选取。  
2. 陈列室一般照明 UGR 不宜大于 19。  
3. 辨色要求一般的场所，Ra 应不低于 80；辨色要求高的场所，Ra 应不低于 90。

表 7.3-17 展览馆展厅照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值 (lx)	UGR	Ra
一般展厅	地面	200	22	80
高档展厅	地面	300	22	80

注 高于 6m 的展厅 Ra 可降低到 60。

表 7.3-18 交通建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
售票台	台面	500	—	80
问讯处	0.75m 水平面	200	—	80



续表

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
候车(机、船)室	普通	地面	150	22	80
	高档	地面	200	22	80
中央大厅、售票大厅		地面	200	22	80
海关、护照检查		工作面	500	—	80
安全检查		地面	300	—	80
换票、行李托运		0.75m 水平面	300	19	80
行李认领、到达大厅、出发大厅		地面	200	22	80
通道、连接区、扶梯		地面	150	—	80
有棚站台		地面	75	—	20
无棚站台		地面	50	—	20

表 7.3-19 无电视转播的体育建筑照度标准值

运 动 项 目			参考平面 及其高度	照度标准值(lx)	
				训练	比赛
篮球、排球、羽毛球、网球、手球、田径 (室内)、体操、艺术体操、技巧、武术			地面	300	750
棒球、垒球			地面	—	750
保龄球			置瓶区	300	500
举重			台面	200	750
击剑			台面	500	750
柔道、中国摔跤、国际摔跤			地面	500	1000
拳击			台面	500	2000
乒乓球			台面	750	1000
游泳、蹼泳、跳水、水球			水面	300	750
花样游泳			水面	500	750
冰球、速度滑冰、花样滑冰			冰面	300	1500
围棋、中国象棋、国际象棋			台面	300	750
桥牌			桌面	300	500
射击	靶心		靶心垂直面	1000	1500
	射击位		地面	300	500
足球、曲棍球	观看距离	120m	地面	—	300
		160m		—	500
		200m		—	750
观众席			座位面	—	100
健身房			地面	200	—

表 7.3-20 有电视转播的体育建筑照度标准值

项 目 分 组	参考平面及其高度	最大摄影距离照度标准值 (lx)		
		25m	75m	150m
A 组: 田径、柔道、游泳、摔跤等项目	1.0m 垂直面	500	750	1000
B 组: 篮球、排球、羽毛球、网球、手球、体操、花样滑冰、速滑、垒球、足球等项目	1.0m 垂直面	750	1000	1500
C 组: 拳击、击剑、跳水、乒乓球、冰球等项目	1.0m 垂直面	1000	1500	—

表 7.3-21 体育建筑照明质量标准值

类别	GR	Ra
无线电转播	50	65
有线电转播	50	80

注 GR 值仅适用于室外体育场地。

2.2.3 公用场所照明标准

公用场所照明标准值见表 7.3-22。

表 7.3-22 公用场所照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值(lx)	UGR	Ra
门厅	普通	地面	100	—	60
	高档	地面	200	—	80
走廊、流动区域	普通	地面	50	—	60
	高档	地面	100	—	80
楼梯、平台	普通	地面	30	—	60
	高档	地面	75	—	80
自动扶梯		地面	150	—	60
厕所、洗室、浴室	普通	地面	75	—	60
	高档	地面	150	—	80
电梯前厅	普通	地面	75	—	60
	高档	地面	150	—	80
休息室		地面	100	22	80
储藏室、仓库		地面	100	—	60
车库	停车间	地面	75	28	60
	检修间	地面	200	25	60

2.2.4 应急照明的照度标准

应急照明的照度标准值应符合下列规定:

- 1) 备用照明的照度值除另有规定外,不低于该场所一般照明照度值的 10%。
- 2) 安全照明的照度值不低于该场所一般照明照度值的 5%。
- 3) 疏散通道的疏散照明的照度值不低于 0.5lx。

2.3 维护系数

为使照明场所的实际照度水平不低于规定的维持平均照度值,照明设计计算时,应考虑因光源的光通量的衰减、灯具和房间表面污染引起的照度降低,因此,照度计算时应计入表 7.3-23 中的维护系数值。

表 7.3-23 维 护 系 数

环境污染特征		房间或场所举例	灯具最少擦拭次数(次/a)	维护系数值
室内	清洁	卧室、办公室、餐厅、阅览室、教室、病房、客房、仪器仪表装配间、电子元器件装配间、检验室等	2	0.80
	一般	商店营业厅、候车室、影剧院、机械加工车间、机械装配车间、体育馆等	2	0.70
	污染严重	厨房、锻工车间、铸工车间、水泥车间等	3	0.60
室外		雨篷、站台	2	0.65

- 1) 符合下列条件之一及以上时, 作业面或参考平面的照度可按照度标准值分级降低一级。
- ①视觉作业对操作安全有重要影响时。
  - ②识别对象亮度对比小于 0.3 时。
  - ③作业精度要求较高, 且产生差错会造成很大损失时。
  - ④视觉能力低于正常能力时。
  - ⑤建筑等级和功能要求高时。
- 2) 符合下列条件之一及以上时, 作业面或参考平面的照度可按照度标准值分级降低一级。
- ①进行很短时间的作业时。
  - ②作业精度或速度无关紧要时。
  - ③建筑等级和功能要求较低时。

2.4 作业面邻近周围的照度

作业面邻近周围的照度可低于作业面照度, 但不宜低于表 7.3-24 的数值。

表 7.3-24 作业面邻近周围照度	
作业面照度	作业面邻近周围照度值 (lx)
≥750	500
500	300
300	200
≤200	与作业面照度相同

注 邻近周围指作业面外 0.5m 范围之内。

2.5 设计照度值与照度标准值的偏差

在一般情况下, 设计照度值与照度标准值相比较, 可有 -10%~+10% 的偏差。当房间灯具少于 10 盏时, 允许超过此偏差。

2.6 照度均匀值

- 1) 公共建筑的工作房间和工业建筑作业区域内的一般照明照度均匀度, 应不小于 0.7, 而作业面邻近周围的照度均匀度应不小于 0.5。
- 2) 房间或场所内的通道和其他非作业区域的一般照明的照度值不宜低于作业区域一般照明照度值的 1/3。
- 3) 在有电视转播要求的体育场馆, 其主摄像方向上的照明应符合下列要求:
- ①场地垂直照度最小值与最大值之比不宜小于 0.4。
  - ②场地平均垂直照度与平均水平照度之比不宜小于 0.25。
  - ③场地水平照度最小值与最大值之比不宜小于 0.5。
  - ④观众席前排的垂直照度不宜小于场地垂直照度的 0.25。

2.7 眩光限制

- 1) 直接型灯具的遮光角应不小于表 7.3-25 的规定。
- 2) 公共建筑和工业建筑常用房间或场所的不舒适眩光应采用统一眩光值 (UGR) 评价。
- 3) 室外体育场所的不舒适眩光应采用眩光值 (GR) 评价。

表 7.3-25 直接型灯具的遮光角

光源平均亮度 (cd/m <sup>2</sup> )	遮光角 (°)	光源平均亮度 (cd/m <sup>2</sup> )	遮光角 (°)
1~20	10	50~500	20
20~50	15	≥500	30

- 4) 可用下列方法防止或减少光幕反射和反射眩光:
- ①避免将灯具安装在干扰区内。
  - ②采用低光泽度的表面装饰材料。
  - ③限制灯具亮度。
  - ④照亮顶棚和墙表面, 但避免出现光斑。
- 5) 有视觉显示终端的工作场所照明应限制灯具中垂线以上大于等于 65°高度角的亮度。灯具在该角度上的平均亮度限值宜符合表 7.3-26 的规定, 表中屏幕分类见 ISO 9241-7。

表 7.3-26 灯具平均亮度限值

屏幕分类	I	II	III
屏幕质量	好	中等	差
灯具平均亮度限值 (cd/m <sup>2</sup> )	≤1000		≤200

- 注 1. 本表适用于仰角不大于 15°的显示屏。
2. 对于特定使用场所, 如敏感的屏幕或仰角可变的屏幕, 表中亮度限值应用在更低的灯具高度角 (如 55°) 上。

2.8 光源颜色

- 1) 室内照明光源色表分组及适用场所举例, 见表 7.3-27。

表 7.3-27 光源色表分组及适用场所举例

色表分组	色表特征	相关色温 (K)	适用场所举例
I	暖	<3300	客房、卧室、病房、酒吧、餐厅
II	中间	3300~5300	办公室、教室、阅览室、诊室、检验室、机加车间、仪表装配
III	冷	>5300	热加工车间、高照度场所

- 2) 长期工作或停留的房间或场所, 照明光源的显色指数 (Ra) 不宜小于 80。在灯具安装高度大于 6m 的工业建筑场所, Ra 可低于 80, 但必须能够辨别安全色。

2.9 反射比

长时间工作的房间, 其表面反射比宜按表 7.3-28 选择。

表 7.3-28 工作房间表面反射比

表面名称	反射比 (%)
顶棚	60~90
墙面	30~80
地面	10~50
作业面	20~60

# 第4章 照 明 光 源

## 1 光源的标准和能效标准

有关光源的标准规定了光源的技术性能要求，试验方法、能效标准等。表 7.4-1 列出了有关光源的部分国家或行业标准，以供参考。

表 7.4-1 光 源 标 准

序号	标准名称	标准编号
1	电光源产品的分类和型号命名方法	QB 2274—1996
2	镇流器型号命名方法	QB 2275—1996
3	卤钨灯(非机动车辆用)性能要求	GB/T 14094—2005
4	家庭和类似场合普通照明用钨丝灯性能要求	GB/T 10681—2004
5	双端荧光灯性能要求	GB/T 10682—2002
6	普通照明用双端荧光灯能效限定值及能效等级	GB 19043—2003
7	单端荧光灯 性能要求	GB/T 17263—2002
8	单端荧光灯能效限定值及节能评价	GB 19415—2003
9	普通照明用镇流荧光灯 性能要求	GB/T 17263—2002
10	普通照明用自镇流荧光灯能效限定值及能效等级	GB 19044—2003
11	单端金属卤化物灯(175~1500W 钨钠系列)	GB 18661—2002
12	金属卤化物灯能效限定值及能效等级	GB 20054—2006
13	高压钠灯	GB/T 13259—2005
14	高压钠灯能效限定值及能效等级	GB 19573—2004

### 1.1 电光源的分类

根据光的产生原理，电光源主要分为两大类：

一类是以热辐射作为光辐射原理的电光源，包括白炽灯和卤钨灯，它们都是以钨丝为辐射体，通电后使之达到白炽灯温度，产生热辐射。这种光源统称为热辐射光源，目前仍是重要的照明光源，生产数量极大。

另一类是各种气体放电光源，它们主要以原子辐射形式产生光辐射。根据这些光源中气体的压力，又可分为低气压气体放电光源和高气压气体放电光源。

### 1.2 电光源的性能指标

电光源根据其名称就可知，它主要有光与电两方面的性能指标，这两方面的性能指标当然有着密切的联系。但作为光源，最主要的还是光的性能指标，而对电的指标要求也往往注重于它对光性能的影响。

#### (1) 光通量

光源的光通量表征着光源的发光能力，是光源的重要性能指标。光源的额定光通量指光源在额定电压、额定功率的条件下工作，并能无拘束地发出光的工作环境下的光通量输出。

光源的光通量随光源点燃时间会发生变化，即点燃时间越长，光通量因衰减而变得越小。大部分光源在点燃初期光通量衰减较多，随着点燃时间的增长，衰减也逐渐减小。光源的额定光通量有两种情况：一种指电光源的初始光通量，

即新光源刚开始点燃时的光通量输出，它一般用于在整个使用过程中光通量衰减不大的光源，例如卤钨灯；另一种情况是指光源使用了 100h 后的光通量输出，它一般用于光通量衰减较大的光源，例如荧光灯。

#### (2) 发光效能

光源的光通量输出与它取用的电功率之比称为光源的发光效能，简称光效，单位是 lm/W。在照明设计中应优先选用光效高的光源。

#### (3) 显色性

显色性是光源的一个重要性能指标。通常情况下光源一般用显色指数衡量其显色性，可概分为 4 组，在对某些颜色有特殊要求时，则采用特殊显色指数。

#### (4) 色表

光源的色表是指其表观颜色，它和光源的显色性是两个不同的概念。例如荧光高压汞灯的灯光从远处看又白又亮，色表较好，但在该灯光下人的脸部呈现青色，说明它的显色性并不是很好。色表同样是电光源的重要性能指标。

光源的色表虽然可以用红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等形容词来表示，但为了定量表示，常用相关色温来度量。

## 2 光源

### 2.1 白炽灯与卤钨灯

白炽灯是将电流通过灯丝产生高温热辐射发光。它有结构简单、能瞬间点燃、无频闪现象、显色性能好、使用方便、价格便宜等特点，得到广泛应用。但是，它防光效率低（热辐射中只有 2%~3% 为可见光），一般为 7~19lm/W；使用寿命短（灯丝有蒸发现象），平均寿命为 1000h；抗震性能低；色温约为 2400~2900K，使用受到限制；电源电压偏移对其寿命和光通量的影响比较大。一般情况下，室内外照明不应采用普通照明白炽灯；在特殊情况下需采用时，其额定功率应不超过 100W。

常用灯丝结构有单螺旋和双螺旋两种，也有三螺旋形式，灯头可以分为三大类：卡口灯头（B）、螺口灯头（E）和预聚焦灯头（P）。国家标准《家庭和类似场合普通照明用钨丝灯性能要求》（GB/T 10681—2004）给出额定电压 220V 和 230V 下，功率为 15~200W，使用 E27 灯头（螺口灯头）和 B22 灯头（卡口灯头）的主要性能。同一规格的产品又给出了高光通量型和正常光通量型两类。高光通量型的产品比同功率的正常光通量的产品光通量要高出 7%~20%。

卤钨灯是在石英玻璃灯泡壳的白炽灯内充入少量卤素（如氟、溴、碘等）或卤化物，它将使灯泡的发光效能提高 30%，寿命延长 50%，色温为 2700~3400K。其发光光谱是连续的，与白炽灯相似。卤钨灯具有体积小、功率大、能瞬间点燃、可调光、无频闪效应、显色性好、发光效能高等特点，多用于较大空间和要求高照明度的场所，色温特别适用于电视转播照明、摄影、绘图等场所。卤钨灯最大的缺点是抗震性能差，使用时应注意：管形灯应水平放置；不宜靠近易燃易爆物，且供电导线要用耐高温导线，并要接触良好，

避免震荡或撞击。

## 2.2 荧光灯

荧光灯是在真空的玻璃管内充入一定量的惰性气体，并装入少量的汞粒，管内壁涂一层荧光粉，管的两端分别装有可短时间点燃的灯丝，从而构成荧光灯管。荧光灯管要能工作，还需要辉光启动器和镇流器组成的工作电路。

除直管荧光灯外，还有环形、U形、H形、D形、双曲形等形状；还有将辉光启动器和镇流器与灯管组装为一体，可直接代替白炽灯。几种常见光色的荧光灯的色温及显色指数见表 7.4-2。

表 7.4-2 荧光灯的色温和显色指数

灯的种类	基准光源色温 (K)	平均显色指数 $R_a$
日光色	6500	77
白色	4200	64
暖白色	3350	59
三基色	3350	85

荧光灯具有发光效能高、寿命长、表面温度低、显色性较好、光通分布均匀等特点，得到广泛使用。荧光灯也有缺点，如供电电压低或环境温度低（低于 10℃）时启动困难，会产生频闪效应等。所以需要观察快速运动或转动的物体的场所，辨别颜色要求较高的场所禁止采用荧光灯照明。当然，为了提高启动和工作性能，已经出现了一些新产品或替代产品，如电子镇流器代替传统的镇流器，冷阴极瞬时点燃荧光灯线路等。

## 2.3 高压钠灯与低压钠灯

高压钠灯是在放电发光管内充入惰性气体，并加入足够的钠，主要以高压钠蒸气放电，光效率高，约为荧光高压汞灯的两倍。高压钠灯寿命长，紫外线辐射小，光通维持性能好透雾性能好，耐震，宜用于照度要求较高的大空间照明。

低压钠灯是电光源中发光效能最高的品种，发光效能可达 140~180lm/W，光色柔和，眩光小，透雾能力极强，适用于公路、隧道、港口、货场和矿区等场所的照明，也可作为旋光仪、折射仪、偏振仪等光学仪器中的单色光源。

## 2.4 荧光高压汞灯

高压汞灯分为荧光高压汞灯、反射型荧光高压汞灯和自镇流荧光高压汞灯三种。它具有光效率高、耐震、耐热、寿命长等特点。其缺点是不能瞬间点燃、启动时间长、显色性能差、供电电压变化不宜大于 5%等。

## 2.5 其他光源

### (1) 发光二极管 (LED)

LED 光源在照明领域的应用，是半导体发光材料技术快速发展的产物。LED 是一种半导体发光二极管，利用固体半导体芯片作为发光材料，当两端加上正电压，半导体中的载流子发生复合，发出过剩的能量，从而引起光子发射，产生可见光。目前大功率 LED 发光效能可达 30lm/W，辐射颜色为多元化色彩，寿命达数万小时。

LED 发光的颜色由组成半导体的材料决定，磷化铝、磷化镓、磷化铟的合金可以做成红色、橙色、黄色；氮化镓和氮化铟的合金可以作成绿色、蓝色和白色。

与目前常用的光源相比，LED 的光输出相对比较低，

因此需要采用阵列或其他结构来组成照明灯。

LED 为低电压供电，具有附件简单、结构紧凑、可控性好、色彩丰富纯正、高亮点、防潮防震性能好、节能环保等优点，目前在显示技术领域、标志灯和带色的装饰照明等方面占有举足轻重的地位。

### (2) 光纤照明

光纤照明是近年新发展起来的一门照明技术。它是采用光导纤维（简称光纤，又称光波导），利用全反射原理，通过光导纤维把光传送到需要的部位进行照明的一种新的照明方式。

光纤照明具有其他方式不可替代的优势，一是装饰性强，通过光纤输出的光，不仅明暗可调，而且颜色可变，是动态夜景照明相当理想的方法；二是安全，光纤本身只导光不导电，不怕水，不易破损，而且体积小，柔软可弯曲，是一种十分安全的变色发光塑料条，可以安全地用在高温、低温、高湿度、水下、露天等场所。在博物馆照明中，可以免除光线中的红外线和紫外线对展品的损伤，在具有火险、爆炸性气体和蒸气的场所，它也是一种安全的照明方式。

### (3) 医疗光源

无影灯适用于医院各类手术室。

### (4) 农业用光源

诱虫黑光灯是利用昆虫的趋光性，将昆虫吸引至小范围，利用电网或水盆对其进行诱杀。

人工温室用灯，能全年提供理想的植物生长的光照条件，有利于人工温室内植物的生长。

### (5) 其他光源

黑光灯管属荧光灯，适用于各类验钞机、纺织工业原料选用、食品工业、光化学反应、娱乐场所特殊效果照明等。

## 2.6 光源主要附件

### (1) 镇流器

镇流器是气体放电灯用于启动和限流的控制器件，由于气体放电灯具有负伏安特性，要配以镇流器来启动灯的放电和限定灯内惰性气体电离升温并使水银蒸气压力上升，当电子轰击汞蒸气放电后生成的紫外线激发荧光灯而发光，启动完成后镇流器起限流器的作用，使灯开始正常工作。

气体放电灯的镇流器主要分两大类：电感镇流器和电子镇流器。电感式镇流器包括普通型和节能型。荧光灯用交流电子镇流器包括可控式电子镇流器和应急照明用交流/直流电子镇流器。

近年来我国修订和制定的镇流器标准，包括安全要求、性能要求、特殊要求和能效标准。有关性能要求和能效限定值及节能评价价值的标准名称和编号列于表 7.4-3。

表 7.4-3 镇流器性能标准和能效标准

序号	标准名称	标准编号
1	管形荧光灯用镇流器性能要求	GB/T 14044—2005
2	灯用附件放电灯（管形荧光灯除外）用镇流器性能要求	GB/T 15042—2005/IEC60923: 2001
3	管形荧光灯用交流电子镇流器性能要求	GB/T 15144—2005/IEC60929: 2002
4	管形荧光灯镇流器能效限定值及节能评价	GB 17896—1999
5	高压钠灯用镇流器能效限定值及节能评价	GB 19574—2004

续表

序号	标准名称	标准编号
6	金属卤化物灯用镇流器能效限定值及能效等级	GB 20053—2006

(2) 触发器

高强气体放电灯（HID）的启动方式有内触发和外触发两种。灯内有辅助启动电极或双金属启动片的为内触发；外触发则利用灯外触发器产生高电压脉冲来击穿灯管内的气体使其启动，但不提供电极预热的装置。如果是既提供放电灯

电极预热，又能产生电压脉冲或通过对镇流器突然断电使其产生自感电动势的器件，则称为启动器。

HID光源电子触发器分为脉冲（半并联）触发器和并联触发器。

(3) 补偿电容器

气体放电灯电流和电压间有相位差，加之串接的镇流器为电感性的，所以照明线路的功率因数较低（一般为0.35～0.55）。为提高线路的功率因数，减少线路损耗，利用单灯补偿更有效，措施是在镇流器的输入端接入一个适当容量的电容器，可将单灯功率因数提高到0.85～0.9。

## 第5章 照明灯具

### 1 灯具的概述

#### 1.1 灯具定义

灯具包括了出光源及用于固定和保护光源的全部零部件及电源连接器。灯具是透光、分配和改变光源光分布的器具。

#### 1.2 灯具的主要功能

- 1) 固定光源、镇流器、补偿电容和电子触发器的器械，并对以上元件提供机械安装的位置。
- 2) 控制光源所发出的光线，保证其配光曲线符合环境的需要，做到良好的配光并防止眩光。
- 3) 保证满足场所的防护要求，达到安全照明，如防爆、防水、防尘等。
- 4) 装饰环境以达到美化、实用的目的。

### 2 照明灯具分类

#### 2.1 根据用途分类

照明灯具分类如图 7.5-1 所示。



图 7.5-1 照明灯具分类

#### 2.2 根据光源分类

根据光源进行分类，包括白炽灯、荧光灯、气体放电灯等不同类型，见表 7.5-1。

表 7.5-1 灯具的光源分类和选型

光源分类	白炽灯灯具	荧光灯灯具	高强气体放电灯灯具
配光控制	较易	难	较易
眩光控制	较易	易	较难
调光	容易	较难	难
适用场所	光效低、发热量大，不适用于高照度场所，可用于照度低、开关频繁、要求暖色调的场所及装饰照明	适用于高度较低的公共及工业建筑场所	适用于高度较高的公共及工业建筑场所

#### 2.3 根据安装方式分类

- 1) 室内：吸顶灯、嵌入灯、悬挂灯、壁灯等。
  - 2) 室外：地埋灯、庭院灯等。
- 详见表 7.5-2。

表 7.5-2 灯具的安装方式分类、特征及适用场所

安装方式	吸顶式灯具	嵌入式灯具	悬吊式灯具	壁式灯具
特征	(1) 顶棚较亮 (2) 房间明亮 (3) 眩光可控制 (4) 光利用率高 (5) 易于安装和维护 (6) 费用低	(1) 与吊顶系统组合在一起 (2) 眩光可控制 (3) 光利用率较吸顶式低 (4) 顶棚与灯具的亮度对比大，顶棚暗 (5) 费用高	(1) 光利用率高 (2) 易于安装和维护 (3) 费用低 (4) 顶棚有时出现暗区	(1) 照亮壁面 (2) 易于安装和维护 (3) 安装高度低 (4) 易形成眩光
适用场所	适用于低顶棚照明场所	适用于低顶棚但要求眩光小的照明场所	适用于顶棚较高的照明场所	适用于装饰照明，兼作加强照明和辅助照明用

#### 2.4 根据材料分类

金属材料制成的灯具、塑料材料制成的灯具及其他材料制成的灯具，如玻璃、水晶、贝壳等。

#### 2.5 按照特殊环境分类

有多尘、潮湿、腐蚀、火灾、防爆等专用灯具，详见表 7.5-3。



表 7.5-3 特殊场所使用的灯具分类和选型

特殊场所	环境特点	对灯具选型的要求	适用场所
多尘场所	大量粉尘积在灯具上造成灯具污染,效率下降(不包括有可燃和爆炸危险的场所)	(1) 采用尘密灯 (2) 灰尘不多的场所可采用开启式灯具 (3) 采用不易污染的反射型灯泡	水泥、面粉、煤粉及铸造等生产车间
潮湿场所	相对湿度大,常有冷凝水出现,降低绝缘性能,产生漏电或短路,增加触电危险	(1) 灯具的引入处严格密封 (2) 采用带瓷质灯头的开启式灯具	浴室、蒸汽机房
腐蚀性场所	有大量腐蚀介质气体或在大气中有大量盐雾、二氧化硫气体场所,对灯具的金属部件有腐蚀作用	(1) 腐蚀性严重的场所采用密闭防腐灯,外壳由抗腐蚀的材料制成 (2) 对灯具内部易受腐蚀的部件实施密封隔离 (3) 对腐蚀性不太强烈的场所可采用半开启式灯具	电镀、酸洗、铸铝等车间以及散发腐蚀性气体的化学车间等
火灾危险场所	按照火灾危险区域划分的 21、22 区和 23 区	(1) 防止灯泡火花或热点成为火源而引起火灾 (2) 固定安装的灯具,在 21 区场所使用 IP2X 等级的保护型灯具,在 22 区场所使用 IP5X 等级的灯具,在 23 区场所使用 IP2X 等级的灯具	21 区:地下油泵间、储油槽、变压器维修和储存间 22 区:煤粉生产车间、木工锯料间 23 区:纺织品库、原棉库、图书、资料、档案馆
爆炸危险场所	空间有爆炸性气体蒸气(0、1、2 区)和粉尘、纤维(10、11 区)的场所。当介质达到适当温度形成爆炸性混合物,在有燃烧源或热点温升达到闪点情况下能引起爆炸的场所	应采用具有防爆间隙的隔爆型灯或具有密封性的增安型灯,并限制灯具外壳表面温度	0 区:非桶装储漆间 1 区:汽油洗涤间、液化和天然气配气站 2 区:喷漆室、干燥间

2.6 根据防护等级 IP 分类

按国际电工委员会标准 IEC 529—598 和《灯具一般安全要求与试验》(GB 7000—2002) 规定,根据水和异物的侵入的防护程度进行分类。例如 IP65,其中第一位数字即与表 7.5-4 中等级 6 对应,表示完全防尘;而第二位数字与表 7.5-5 中等级 5 对应,表示防止喷水进入;其余依此类推。

(1) 防异物

表 7.5-4 灯具 IP 分类防异物等级

特征等级	防护等级	
	简述	防护细节
0	无防护	无特殊防护要求
1	防止大于 50mm 异物进入	防止大面积的物体进入,例如手掌等
2	防止大于 12mm 异物进入	防止手指等物体进入
3	防止大于 2.5mm 异物进入	防止工具、导线等进入
4	防止大于 1.0mm 异物进入	防止导线、条带等进入
5	防止小于 1.0mm 异物进入	不严格防尘,但不允许过量的尘埃进入以致使设备不能满意的工作
6	完全防尘	不准尘埃进入

(2) 防水(见表 7.5-5)

表 7.5-5 灯具 IP 分类防水等级和程度

特征等级	防护等级	
	简述	防护细节
0	无防护	无特殊防护要求
1	防止水滴进入	垂直下滴水滴应无害
2	防止倾斜 15°的水滴	灯具外在正常位置和直到倾斜 15°时垂直下滴水滴应无害
3	防止洒水进入	与垂直 65°处洒下的水应无害
4	防止泼水进入	任意方向对灯具封闭体泼水应无害
5	防止喷水进入	任意方向对灯具封闭体喷水应无害
6	防海浪进入	防止强力喷射的灌水或进入量不损害灯具
7	防浸水	以一定压力和时间将灯具浸在水中时,进入水量不有害于灯具
8	防淹水	在规定的条件下灯具能持续淹没在水中而不受影响

从电气安全角度看,灯具中 0 类的安全程度最低,Ⅰ、Ⅱ类较高,Ⅲ类最高。有些国家已不允许生产 0 类灯具,我国目前尚无此规定。在照明设计时,应综合考虑使用场所的环境、操作对象、安装和使用位置等因素,选用合适类别的灯具。在使用条件或使用方法恶劣场所应使用Ⅲ类灯具,一般情况下可采用Ⅰ类或Ⅱ类灯具。

2.7 根据国际照明委员会(CIE)推荐的灯具分类(室内照明)

根据国际照明委员会(CIE)的建议,灯具按光通量在上下空间分布的比例分为五类:直接型、半直接型、全漫射型(包括水平方向光线很少的直接-间接型)、半间接型和间接型。

(1) 直接型灯具

此类灯具绝大部分光通量(90%~100%)直接投照下方,所以灯具的光通量的利用率最高。

(2) 半直接型灯具

这类灯具大部分光通量(60%~90%)射向下半球空间,少部分射向上方,射向上方的分量将减少照明环境所产生的阴影的硬度并改善其各表面的亮度比。

(3) 漫射型或直接-间接型灯具

灯具向上向下的光通量几乎相同(各占 40%~60%)。

最常见的是乳白玻璃球形灯罩,其他各种形状漫射透光的封闭灯罩也有类似的配光。这种灯具将光线均匀地投向四面八方,因此光通利用率较低。

(4) 半间接型灯具

灯具向下光通量占 10%~40%，它的向下分量往往只用来产生与天棚相称的亮度，此分量过多或分配不适当也会产生直接或间接眩光等一些缺陷。

上面敞口的半透明罩属于这一类。它们主要作为建筑装饰照明，由于大部分光线投向顶棚和上部墙面，增加了室内的间接光，光线更为柔和宜人。

(5) 间接型灯具

灯具的小部分光通量（10%以下）向下。设计得好时，全部天棚成为一个照明光源，达到柔和无阴影的照明效果，由于灯具向下光通很少，只要布置合理，直接眩光与反射眩光都很小。此类灯具的光通利用率比前面四种都低。

2.8 根据防触电保护分类

为了电器安全，灯具所有带电部分必须采用绝缘材料等加以隔离。灯具的这种保护人身安全的措施称为防触电保护。根据防触电保护方式，灯具可分为 0、Ⅰ、Ⅱ 和 Ⅲ 四类，每一类灯具的主要性能及其应用情况在表 7.5-6 中有详细的说明。

表 7.5-6 灯具的防触电保护分类		
灯具等级	灯具主要性能	应用说明
0 类	保护依赖基本绝缘，在易触及的部分及外壳和带电体间的绝缘	适用安全程度高的场合，且灯具安装、维护方便。如空气干燥、尘埃少、木地板等条件下的吊灯、吸顶灯
Ⅰ 类	除基本绝缘外，易触及的部分及外壳有接地装置，一旦基本绝缘失效时，不致有危险	用于金属外壳灯具，如投光灯、路灯、庭院灯等，提高安全程度
Ⅱ 类	除基本绝缘，还有补充绝缘，做成双重绝缘或加强绝缘，提高安全性	绝缘性好，安全程度高，适用与环境差、人经常触摸的灯具，如台灯、手提灯等
Ⅲ 类	采用特低安全高压（交流有效值小于 50V），且灯内不会产生高于辞职的电压	灯具安全程度最高，用于恶劣环境，如机床工作灯、儿童用灯等

从电气安全角度看，0 类灯具的安全程度最低，Ⅰ、Ⅱ 类较高，Ⅲ 类最高。有些国家已不允许生产 0 类灯具，我国目前尚无此规定。在照明设计时，应综合考虑使用场所的环境操作对象、安装和使用位置等因素，选用合适类别的灯具。在使用条件或使用方法恶劣场所应使用Ⅲ类灯具，一般情况下可采用Ⅰ类或Ⅱ类灯具。

3 光强

3.1 光强分布

任何灯具在空间各个方向上的发光强度都不是一样的，

我们可以利用数字和图形把灯具在空间的分布情况记录下来，这些图形和数字能帮助我们了解灯具光强分布的概貌，并用以进行照度、亮度、高度比等各项照明计算。

对于室内照明灯具，常以极坐标表示灯具的光强分布。以极坐标原点为中心，把灯具在各个方向的发光强度用矢量表示出来，连接矢量的端点，即形成光强分布曲线（也叫配光曲线）。

因为绝大多数灯具的形状都是轴对称的旋转体，所以其光强分布也是轴对称的。这类灯具是以通过灯具轴线一个平面上的光强分布曲线，来表示灯具在整个空间的光强分布的。对于非轴对称旋转体的灯具，如荧光灯灯具，其发光强度的空间分布是不对称的，这时，则需要通过若干个测光平面的光强分布曲线来表示灯具的光强分布，通常取三个平面，即纵向、横向和 45° 方向。

为了便于对各种灯具的光强分布特性进行比较，曲线的光强值都是按照光通量为 1000lm 给出的，因此，实际光强值应当是光强的测定值乘以灯具中光源实际光通量与 1000 的比值。

3.2 灯具效率

在规定条件下，灯具发出的总光量占灯具内光源发出的总光通量的百分比，称为灯具效率。灯具的效率说明灯具对光源光通的利用程度。灯具的效率总是小于 1。灯具的效率在满足使用要求的前提下，越高越好。如果灯具的效率小于 50%，说明光源发出的光通量有一半被灯具被吸收，效率就很低了。为了既满足功能要求，又尽可能节约能源，《建筑照明设计标准》（GB 50034—2004）中作了相关规定。

3.3 灯具亮度分布和遮光角

1) 灯具的亮度分布和遮光角是评价视觉舒适感所需要的参数。

2) 灯具的测光数据中一般都有灯具在不同方向上的平均亮度值，特别是眩光角。

4 灯具的选择

灯具选用的原则如下：

- 1) 根据环境条件选择光源。
- 2) 根据环境的照度需求选择适当的配光曲线的灯具。
- 3) 验证配光强度需求并保证眩光控制。
- 4) 尽可能采用高效灯具及技能型光源节省长期运行费用。
- 5) 灯具的外形、材料、尺寸大小要和环境条件相适应。
- 6) 合理选择光源的色温要与环境的需要融为一体。
- 7) 便于清洁维护更换光源。
- 8) 灯具的外形和材料一定要保证使用人的用电安全。

## 第6章 照 度 计 算

### 1 点光源的点照度计算

#### 1.1 点光源点照度的基本计算公式

当光源尺寸与光源到计算点之间的距离相比小得多时,可将光源视为点光源。一般圆盘形发光体的直径不大于照射距离的 1/5,线状发光体的长度不大于照射距离的 1/4 时,按点光源进行照度计算误差均小于 5%。距离平方反比定律及余弦定律适用于点光源产生的点照度计算。这些定律是照明计算的基本公式。

##### (1) 距离平方反比定律

点光源 S 在与照射方向垂直的平面 N 上产生的照度  $E_n$  与光源的光强  $I_\theta$  成正比,与光源至被照面的距离 R 的平方成反比,由下式表示 (见图 7.6-1)。

$$E_n = \frac{I_\theta}{R^2} \quad (7.6-1)$$

式中,  $E_n$  为点光源在与照射方向垂直的平面上产生的照度;  $I_\theta$  为照射方向的光强;  $R^2$  为点光源至被照面的计算点距离。

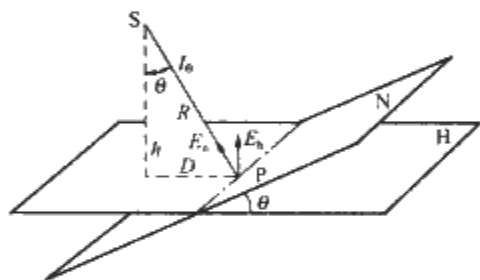


图 7.6-1 点光源的点照度

##### (2) 余弦定律

点光源 S 照射在水平面 H 上产生的照度  $E_h$  与光源的光强  $I_\theta$  及被照面法线与入射光线的夹角  $\theta$  的余弦成正比,与光源至被照面计算点的距离 R 二次方成反比。可由式 (7.6-2) 表示

$$E_h = \frac{I_\theta}{R^2} \cos \theta \quad (7.6-2)$$

式中,  $E_h$  为点光源照射在水平面上 P 点产生的照度;  $I_\theta$  为照射方向的光强; R 为点光源至被照面计算点的距离;  $\cos \theta$  为被照面的法线和入射光线的夹角的余弦。

#### 1.2 点光源水平面和垂直面照度的计算

##### (1) 点光源在水平面照度 $E_h$ 的计算

按照余弦定律,点光源 S 水平照度  $E_h$  (见图 7.6-2) 可按式 (7.6-2) 计算。

##### (2) 点光源在垂直面照度 $E_v$ 的计算

按照余弦定律,点光源 S 垂直面照度  $E_v$  (见图 7.6-2) 为

$$E_v = \frac{I_\theta}{R^2} \cos \beta = \frac{I_\theta}{R^2} \sin \theta \quad (7.6-3)$$

##### (3) $E_v$ 和 $E_h$ 应用光源安装高度 h 的计算

已知光源的安装高度 (或计算高度) h 时,  $E_v$  和  $E_h$  的计算式为

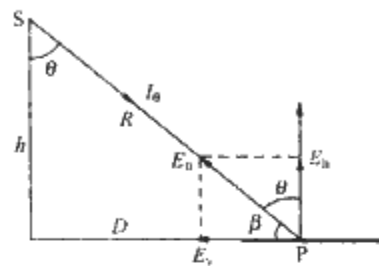


图 7.6-2 点光源水平面与垂直面照度

$$E_h = \frac{I_\theta}{R^2} \cos \theta = \frac{I_\theta \cos \theta}{\left(\frac{h}{\cos \theta}\right)^2} = \frac{I_\theta \cos^3 \theta}{h^2} \quad (7.6-4)$$

$$E_v = \frac{I_\theta}{R^2} \sin \theta = \frac{I_\theta \sin \theta}{\left(\frac{h}{\cos \theta}\right)^2} = \frac{I_\theta \cos^2 \theta \sin \theta}{h^2} \quad (7.6-5)$$

以上式中, h 为光源距所计算水平面的安装高度,即计算高度;其他符号含义同上。

##### (4) $E_h$ 应用直角坐标的计算

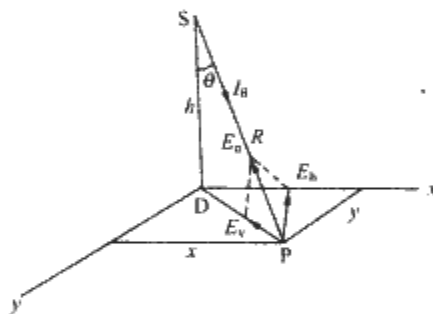


图 7.6-3 直角坐标中的点光源水平面照度

由图 7.6-3 可得

$$E_h = \frac{I_\theta \cos \theta}{R^2} = \frac{I_\theta h}{R^2 R} = \frac{I_\theta h}{R^3}$$

式中

$$R = \sqrt{h^2 + D^2} = \sqrt{h^2 + x^2 + y^2}$$

$$E_h = \frac{I_\theta h}{\sqrt{(h^2 + x^2 + y^2)^3}} \quad (7.6-6)$$

##### (5) 点光源在不同平面上 P 点的法线方向照度之比

点光源 S 在不同平面上 P 点的法线方向照度之比等于

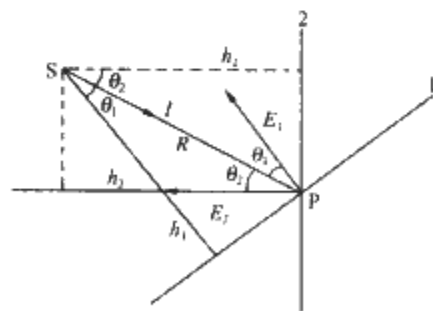


图 7.6-4 点光源在不同平面上 P 点的法线方向照度

点光源 S 到该平面上的垂直线长度之比 (见图 7.6-4), 即

$$E_1 = \frac{1}{R^2} \cos \theta_1; E_2 = \frac{1}{R^2} \cos \theta_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} = \frac{\frac{h_1}{R}}{\frac{h_2}{R}} = \frac{h_1}{h_2} \quad (7.6-7)$$

### 1.3 点光源倾斜面照度计算

倾斜面在任意位置时,有受光面  $N$  和背光面  $N'$  (见图 7.6-5)。 $\theta$  角指倾斜面的背光面与水平面形成的倾角,可小于或大于  $90^\circ$ 。

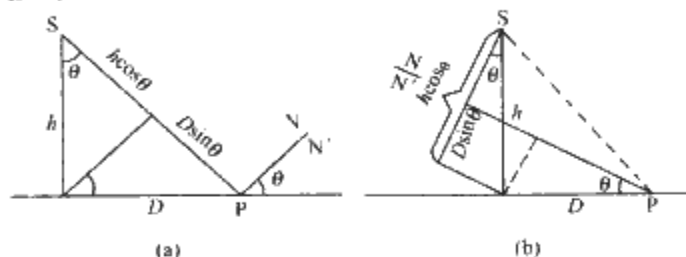


图 7.6-5 点光源倾斜面照度

(a) 受光面能受到光照射; (b)  $\theta$  角增大受光面变化

按照式 (7.6-7), 在  $P$  点上的倾斜面照度  $E_\phi$  与水平面照度  $E_h$  之比为

$$\frac{E_\phi}{E_h} = \frac{h \cos \theta \pm D \sin \theta}{h}$$

因而点光源倾斜面照度  $E_\phi$  可由下式计算

$$E_\phi = \left( \cos \theta \pm \frac{D}{h} \sin \theta \right) E_h = \psi E_h \quad (7.6-8)$$

式中,  $E_\phi$  为倾斜面上  $P$  点的照度;  $E_h$  为水平面上  $P$  点的照度;  $h$  为光源至水平面上的计算高度;  $D$  为光源在水平面上的投影至倾斜面与水平面交线的垂直距离;  $\psi$  为比值。

$$\psi = \cos \theta \pm \frac{D}{h} \sin \theta \quad (7.6-9)$$

式 (7.6-9) 中正号表示图 7.6-5 (a) 的情况, 负号表示图 7.6-5 (b) 的情况。 $\psi$  值可在图 5-6 中查出, 图 7.6-6 中虚线表示式 (7.6-9) 中负的  $\psi$  值。

### 1.4 多光源下的点照度计算

在多光源照射下在水平面或倾斜面上的点照度分别由式 (7.6-10) 及式 (7.6-11) 计算。

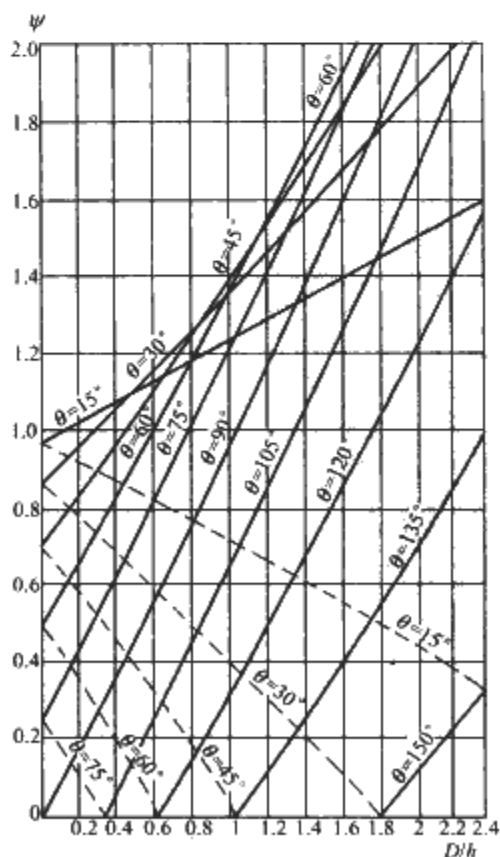


图 7.6-6  $\psi$  与  $D/h$  关系曲线

$$E_{\Sigma h} = E_{h1} + E_{h2} + \dots + E_{hn}$$

$$= \sum_{i=1}^n E_{hi} \quad (7.6-10)$$

$$E_{\Sigma \phi} = E_{\phi1} + E_{\phi2} + \dots + E_{\phi n}$$

$$= \psi_1 E_{h1} + \psi_2 E_{h2} + \dots + \psi_n E_{hn}$$

$$= \sum_{i=1}^n \psi_i E_{hi} \quad (7.6-11)$$

式中,  $E_{\Sigma h}$  为多光源照射下在水平面上的点照度;  $E_{h1}, \dots, E_{hn}$  为各光源照射下在水平面上的点照度;  $E_{\Sigma \phi}$  为多光源照射下在倾斜面上的点照度;  $E_{\phi1}, \dots, E_{\phi n}$  为各光源照射下在倾斜面上的点照度。

### 1.5 点光源应用空间等照度曲线的照度计算

$I_0$  为光源的光强分布值, 则水平照度  $E_h$  可由下式算出

$$E_h = \frac{I_0 \cos^3 \theta}{h^2}$$

$$E_h = f(h, D)$$

按此相互对应关系即可制成空间等照度曲线。通常  $I_0$  取光源光通量为 1000lm 时的光强分布值, 则 RJ—GC888—D8—B (400W) 型工矿灯具 (内装 400W 金属卤化物灯) 的空间等照度曲线如图 7.6-7 所示。

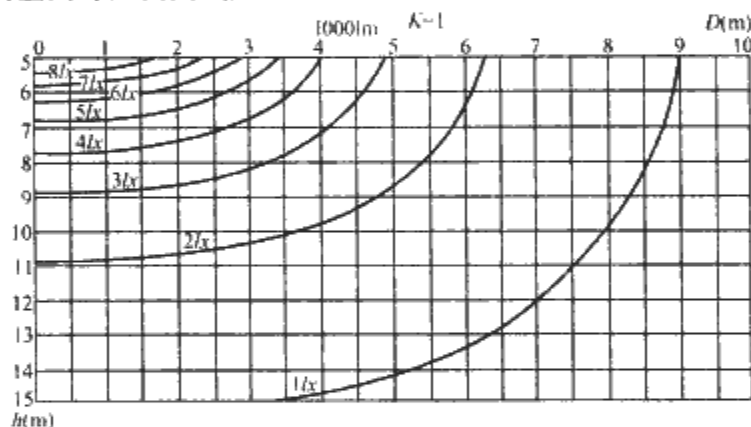


图 7.6-7 RJ—GC888—D8—B (400W) 型工矿灯具 (内装 400W 金属卤化物灯) 的空间等照度曲线

已知灯的计算高度  $h$  的计算点至灯具轴线的水平距离为  $D$ , 应用等照度曲线可直接查出光源 1000lm 时的水平照度  $\epsilon$ 。如光源光通量为  $\Phi$ , 灯具维护系数为  $K$ , 则计算点的实际水平照度为

$$E_h = \frac{\Phi \epsilon K}{1000} \quad (7.6-12)$$

则计算点的垂直平面上的照度为

$$E_v = \frac{D}{h} E_h \quad (7.6-13)$$

计算点的倾斜面上的照度为

$$E_\phi = E_h \left( \cos \theta \pm \frac{D}{h} \sin \theta \right) = \psi E_h \quad (7.6-14)$$

当有多个相同灯具投射到同一点时, 其实际水平面照度可按式 (7.6-15) 计算

$$E_h = \frac{\Phi \Sigma \epsilon K}{1000} \quad (7.6-15)$$

式中,  $\Phi$  为光源的光通量, lm;  $\Sigma \epsilon$  为各灯 (1000lm) 对计算点产生的水平照度之和, lm;  $K$  为灯具的维护系数。

## 2 线光源的点照度计算

### 2.1 概述

线光源指宽度  $b$  较长度  $L$  小得多的发光体。线光源的长度小于计算高度的  $1/4$  (即  $L < h/4$ ) 时, 按点光源进行照度计算, 其误差小于  $5\%$ 。当  $L \geq h/4$  时, 一般应按线光源进行电照度计算。线光源的电照度计算方法主要有方位系数法和应用线光源等照度曲线法。

### 2.2 线光源光强分布曲线

线光源的纵向和横向光强分布曲线如图 7.6-8 所示。

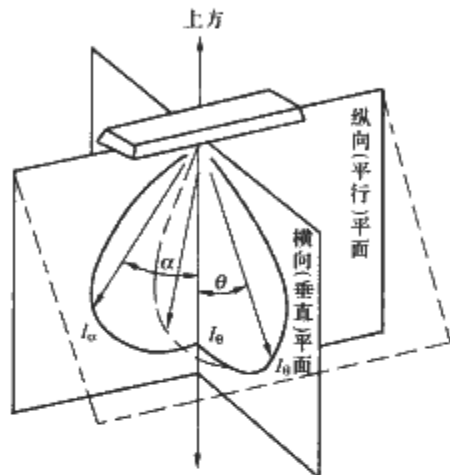


图 7.6-8 线光源的纵向和横向光强分布曲线

1) 线光源的横向光强分布曲线可表示为

$$I_{\theta} = I_0 f(\theta) \quad (7.6-16)$$

式中,  $I_{\theta}$  为  $\theta$  方向上的光强;  $I_0$  为在线光源发光面法线方向上的光强。

2) 线光源的纵向光强分布曲线可能是不同的, 但任何一种线光源在通过光源纵轴的几个平面上的光强分布曲线具有相似的形状, 可由下式表示

$$I_{\theta, \alpha} = I_{\theta, 0} f(\alpha) \quad (7.6-17)$$

式中,  $I_{\theta, \alpha}$  为与通过纵轴的对称平面成  $\theta$  角, 与垂直于纵轴的对称平面成  $\alpha$  角方向上的光强;  $I_{\theta, 0}$  为在  $\theta$  平面上垂直于光源轴线方向的光强 ( $\theta$  平面是通过光源的纵轴而与通过纵轴的垂直面成  $\theta$  夹角的平面)。

实际应用的各种线光源的纵轴向光强分布, 可由下列五类相对光强分布公式表示

A 类  $I_{\theta, \alpha} = I_{\theta, 0} \cos \alpha$

B 类  $I_{\theta, \alpha} = I_{\theta, 0} \left( \frac{\cos \alpha + \cos^2 \alpha}{2} \right)$

C 类  $I_{\theta, \alpha} = I_{\theta, 0} \cos^2 \alpha$

D 类  $I_{\theta, \alpha} = I_{\theta, 0} \cos^3 \alpha$

E 类  $I_{\theta, \alpha} = I_{\theta, 0} \cos^4 \alpha$

纵向平面五类相对光强分布曲线如图 7.6-9 所示。

### 2.3 方位系数法

(1) 线光源在水平面 P 点上的照度计算

计算点 P 与线光源一端 A 对齐, 水平面的法线与入射光平面 ( $\theta$  平面) 成  $\beta$  角, 线光源的纵向光强分布具有  $I_{\theta, \alpha} = I_{\theta, 0} \cos^n \alpha$  ( $n=1, 2, 3, 4$ ) 或者为  $I_{\theta, \alpha} = I_{\theta, 0} \times \left( \frac{\cos \alpha + \cos^2 \alpha}{2} \right)$  的形式, 线光源在  $\theta$  平面上垂直于光源轴线 AB 方向的单位长度光强为

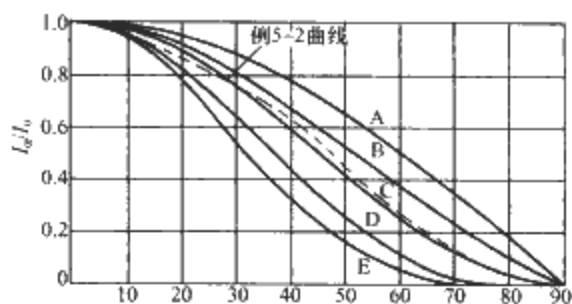


图 7.6-9 纵向平面五类相对光强分布曲线

$I_{\theta}/I_0$ —相对光强;  $\alpha$ —纵向平面角

$$I_{\theta, \alpha} = I'_{\theta, 0} \left( \frac{I_{\theta, 0}}{I} \right)$$

整个线光源 AB 在 P 点的法线照度 (见图 7.6-10) 为

$$E_n = \frac{I_{\theta, 0}}{lR} \int_0^{\alpha_1} \cos^n \alpha \cos \alpha d\alpha$$

或

$$E_n = \frac{I_{\theta, 0}}{lR} \int_0^{\alpha_1} \frac{\cos \alpha + \cos^2 \alpha}{2} \cos \alpha d\alpha \quad (7.6-18)$$

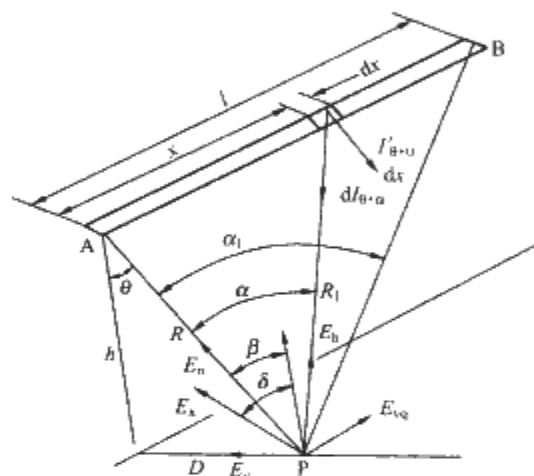


图 7.6-10 线光源在 P 点产生的法线照度

由图 7.6-10 可知

$$R = \sqrt{h^2 + D^2}$$

$$\alpha_1 = \arctan \frac{1}{\sqrt{h^2 + D^2}}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{h}$$

因此

$$E_n = \frac{I_{\theta, 0}}{lR} (AF) = \frac{I'_{\theta, 0}}{R} (AF) \quad (7.6-19)$$

式中,  $AF = \int_0^{\alpha_1} \cos^n \alpha \cos \alpha d\alpha$  或  $AF = \int_1^{\alpha_1} \frac{\cos \alpha + \cos^2 \alpha}{2} \cos \alpha d\alpha$ , 称为水平方位系数。P 点水平面照度  $E_h$  可根据照度矢量计算求出。

$$E_h = \frac{I_{\theta, 0} h}{lR^2} (AF) = \frac{I'_{\theta, 0}}{h} \cos^2 \theta (AF) \quad (7.6-20)$$

考虑到灯具的光通量并非 1000lm 及灯具的维护系数, 则线光源在水平面上 P 点产生的实际水平照度为

$$E_h = \frac{\Phi I'_{\theta, 0} K}{1000h} \cos^2 \theta (AF) \quad (7.6-21)$$

以上式中,  $I_{\theta, 0}$  为长度为  $l$ , 光通量为 1000lm 的线光源在  $\theta$  平面上垂直于轴线的光强, cd;  $I'_{\theta, 0}$  为线光源光通量为 1000lm 时, 在  $\theta$  平面上垂直于轴线的单位长度光强, cd/m;  $\Phi$  为光源光通量, lm;  $l$  为线光源长度, m;  $h$  为线光源在计算水平面上的计算高度, m;  $D$  为线光源在水平面上的投影至计算点 P 的距离, m;  $AF$  为水平方位系数, 见表 7.6-1;  $K$  为灯具的维护系数。

表 7.6-1 水平方位系数 (AF)

照明器类别					
$\alpha (^{\circ})$	A	B	C	D	E
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.017	0.017	0.017	0.018	0.018
2	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
3	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052
4	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070
5	0.087	0.087	0.087	0.087	0.087
6	0.105	0.104	0.104	0.104	0.104
7	0.122	0.121	0.121	0.121	0.121
8	0.139	0.138	0.138	0.138	0.137
9	0.156	0.155	0.155	0.155	0.154
10	0.173	0.172	0.172	0.171	0.170
11	0.190	0.189	0.189	0.187	0.186
12	0.206	0.205	0.205	0.204	0.202
13	0.223	0.222	0.221	0.219	0.218
14	0.239	0.238	0.237	0.234	0.233
15	0.256	0.254	0.253	0.250	0.248
16	0.272	0.270	0.269	0.265	0.262
17	0.288	0.286	0.284	0.280	0.276
18	0.304	0.301	0.299	0.295	0.290
19	0.320	0.316	0.314	0.309	0.303
20	0.335	0.332	0.329	0.322	0.316
21	0.351	0.347	0.343	0.336	0.329
22	0.366	0.361	0.357	0.349	0.341
23	0.380	0.375	0.371	0.362	0.353
24	0.396	0.390	0.385	0.374	0.364
25	0.410	0.404	0.398	0.386	0.375
26	0.424	0.417	0.410	0.398	0.386
27	0.438	0.430	0.423	0.409	0.396
28	0.452	0.443	0.435	0.420	0.405
29	0.465	0.456	0.447	0.430	0.414
30	0.478	0.473	0.458	0.440	0.423
31	0.491	0.480	0.469	0.450	0.431
32	0.504	0.492	0.480	0.459	0.439
33	0.517	0.504	0.491	0.468	0.447
34	0.529	0.515	0.501	0.476	0.454
35	0.541	0.526	0.511	0.484	0.460
36	0.552	0.537	0.520	0.492	0.472
37	0.562	0.537	0.520	0.492	0.472
38	0.574	0.556	0.538	0.506	0.478
39	0.585	0.565	0.546	0.513	0.483
40	0.596	0.575	0.554	0.519	0.488
41	0.606	0.584	0.562	0.525	0.492
42	0.615	0.591	0.569	0.530	0.496
43	0.625	0.598	0.576	0.535	0.500
44	0.634	0.608	0.583	0.540	0.504
45	0.643	0.616	0.589	0.545	0.507
46	0.652	0.623	0.595	0.549	0.510
47	0.660	0.630	0.595	0.549	0.510
48	0.668	0.637	0.606	0.556	0.515
49	0.675	0.643	0.612	0.560	0.517
50	0.683	0.649	0.616	0.563	0.519

续表

照明器类别					
$\alpha (^{\circ})$	A	B	C	D	E
51	0.690	0.655	0.621	0.566	0.521
52	0.697	0.661	0.625	0.568	0.523
53	0.703	0.666	0.629	0.571	0.524
54	0.709	0.671	0.633	0.573	0.525
55	0.715	0.675	0.636	0.575	0.527
56	0.720	0.679	0.639	0.577	0.528
57	0.726	0.684	0.642	0.578	0.528
58	0.731	0.688	0.645	0.580	0.529
59	0.736	0.691	0.647	0.581	0.530
60	0.740	0.695	0.650	0.582	0.530
61	0.744	0.698	0.652	0.583	0.531
62	0.748	0.701	0.654	0.584	0.531
63	0.752	0.703	0.655	0.585	0.532
64	0.756	0.706	0.657	0.586	0.532
65	0.759	0.708	0.658	0.586	0.532
66	0.762	0.710	0.659	0.587	0.533
67	0.764	0.712	0.660	0.587	0.533
68	0.767	0.714	0.661	0.588	0.533
69	0.769	0.716	0.662	0.588	0.533
70	0.772	0.718	0.663	0.588	0.533
71	0.774	0.719	0.664	0.588	0.533
72	0.776	0.720	0.664	0.588	0.533
73	0.778	0.721	0.664	0.588	0.533
74	0.779	0.722	0.665	0.589	0.533
75	0.780	0.723	0.666	0.589	0.533
76	0.781	0.723	0.666	0.589	0.533
77	0.782	0.724	0.666	0.589	0.533
78	0.782	0.724	0.666	0.589	0.533
79	0.783	0.724	0.666	0.589	0.533
80	0.784	0.725	0.666	0.589	0.533
81	0.784	0.725	0.667	0.589	0.533
82	0.785	0.725	0.666	0.589	0.533
83	0.785	0.725	0.667	0.589	0.533
84	0.785	0.725	0.666	0.589	0.533
85	0.786	0.725	0.666	0.589	0.533
86	与 85° 值相同				
87					
88					
89					
90					

(2) 在垂直于线光源轴线的平面上 P 点的照度计算  
在图 7.6-11 中 P 点的照度  $E_{\text{vq}}$  为

$$E_{\text{vq}} = \frac{I_{0 \cdot 0}}{lR} \int_0^{\alpha_1} \cos^2 \alpha \sin \alpha d\alpha$$

或 
$$E_{\text{vq}} = \frac{I_{0 \cdot 0}}{lR} \int_0^{\alpha_1} \frac{\cos \alpha + \cos^3 \alpha}{2} \sin \alpha d\alpha \quad (7.6-22)$$

因此 
$$E_{\text{vq}} = \frac{I_{0 \cdot 0} h}{lR} (af) = \frac{I'_{0 \cdot 0}}{h} \cos \theta (af) \quad (7.6-23)$$

考虑到灯具的光通量并非 1000lm 及灯具的维护系数, 则线光源在 P 点照度为

$$E_{\text{vq}} = \frac{\Phi I'_{0 \cdot 0} K}{1000h} \cos \theta (af) \quad (7.6-24)$$



以上各式中,  $af$  为垂直方位系数, 见表 7.6-2; 其他符号意义与式 (7.6-21) 相同。

表 7.6-2 水平方位系数 ( $af$ )

照明器类别					
$\alpha (^{\circ})$	A	B	C	D	E
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
5	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004
6	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
7	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
8	0.010	0.009	0.009	0.010	0.010
9	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
10	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
11	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
12	0.022	0.021	0.021	0.021	0.021
13	0.025	0.025	0.025	0.025	0.024
14	0.029	0.029	0.029	0.028	0.028
15	0.033	0.033	0.033	0.032	0.032
16	0.038	0.037	0.037	0.037	0.036
17	0.043	0.042	0.041	0.041	0.040
18	0.048	0.047	0.046	0.046	0.044
19	0.053	0.052	0.051	0.049	0.049
20	0.059	0.057	0.056	0.055	0.054
21	0.064	0.063	0.062	0.060	0.058
22	0.070	0.068	0.067	0.065	0.063
23	0.076	0.074	0.073	0.071	0.068
24	0.083	0.081	0.079	0.076	0.073
25	0.089	0.087	0.085	0.081	0.078
26	0.096	0.093	0.091	0.087	0.083
27	0.103	0.100	0.097	0.092	0.088
28	0.110	0.107	0.104	0.098	0.093
29	0.118	0.113	0.110	0.104	0.098
30	0.125	0.120	0.116	0.109	0.103
31	0.132	0.127	0.123	0.115	0.108
32	0.140	0.135	0.130	0.121	0.112
33	0.148	0.142	0.136	0.126	0.117
34	0.156	0.149	0.143	0.132	0.122
35	0.165	0.157	0.150	0.137	0.126
36	0.173	0.164	0.156	0.143	0.131
37	0.181	0.172	0.163	0.148	0.135
38	0.190	0.180	0.170	0.154	0.139
39	0.198	0.187	0.177	0.159	0.143
40	0.207	0.195	0.183	0.164	0.147
41	0.216	0.203	0.190	0.169	0.151
42	0.224	0.210	0.196	0.174	0.155
43	0.233	0.218	0.203	0.179	0.158
44	0.242	0.224	0.209	0.183	0.162
45	0.250	0.232	0.215	0.188	0.165
46	0.259	0.240	0.221	0.192	0.168
47	0.267	0.247	0.227	0.196	0.171
48	0.276	0.254	0.233	0.200	0.173

续表

照明器类别					
$\alpha (^{\circ})$	A	B	C	D	E
49	0.285	0.262	0.239	0.204	0.176
50	0.293	0.268	0.244	0.207	0.178
51	0.302	0.276	0.250	0.211	0.180
52	0.310	0.282	0.255	0.214	0.182
53	0.319	0.289	0.260	0.217	0.184
54	0.327	0.296	0.265	0.220	0.186
55	0.335	0.302	0.270	0.223	0.188
56	0.344	0.309	0.275	0.226	0.189
57	0.352	0.315	0.279	0.228	0.190
58	0.360	0.321	0.283	0.230	0.192
59	0.367	0.327	0.287	0.232	0.193
60	0.375	0.333	0.291	0.234	0.194
61	0.383	0.339	0.295	0.236	0.195
62	0.390	0.344	0.299	0.238	0.195
63	0.397	0.349	0.302	0.239	0.196
64	0.404	0.354	0.305	0.241	0.197
65	0.410	0.359	0.308	0.242	0.197
66	0.417	0.364	0.311	0.243	0.198
67	0.424	0.368	0.313	0.244	0.198
68	0.430	0.372	0.315	0.245	0.199
69	0.436	0.377	0.318	0.246	0.199
70	0.442	0.381	0.320	0.247	0.199
71	0.447	0.384	0.322	0.247	0.199
72	0.452	0.387	0.323	0.248	0.199
73	0.457	0.391	0.323	0.248	0.200
74	0.462	0.394	0.326	0.249	0.200
75	0.466	0.396	0.327	0.249	0.200
76	0.470	0.399	0.328	0.249	0.200
77	0.474	0.401	0.329	0.249	0.200
78	0.478	0.404	0.330	0.250	0.200
79	0.482	0.406	0.331	0.250	0.200
80	0.485	0.408	0.331	0.250	0.200
81	0.488	0.410	0.332	0.250	0.200
82	0.490	0.411	0.332	0.250	0.200
83	0.492	0.412	0.332	0.250	0.200
84	0.494	0.413	0.333	0.250	0.200
85	0.496	0.414	0.333	0.250	0.200
86	0.498	0.415	0.333	0.250	0.200
87	0.499	0.416	0.333	0.250	0.200
88	0.499	0.416	0.333	0.250	0.200
89	0.500	0.416	0.333	0.250	0.200
90	0.500	0.416	0.333	0.250	0.200

在照度计算中求方位系数  $AF$  和  $af$  时, 如不知所用光源 (灯具) 的轴向光强分布属于哪一类, 则应先求出该光源 (灯具) 的  $I_{\theta, \alpha} / I_{\theta, 0} = f(\alpha)$ , 绘成曲线并与五类相对光强分布曲线比较, 按最接近的相对光强分布曲线求方位系数  $AF$  和  $af$ 。

(3) 线光源在不同平面上的点照度计算公式

线光源在不同平面上的点照度计算公式见表 7.6-3。

(4) 各类光强分布的线光源方位系数公式

各类光强分布的线光源方位系数公式见表 7.6-4。



## 2.4 应用线光源等照度曲线计算法

求线光源水平面照度时,  $E_h = \frac{I_{0,0}}{l} \cos^2 \theta$  (AF), 如令  $h=1\text{m}$ , 令  $I_{0,0}$  为线光源光通量是1000lm时的光强, 则所得结果为水平面相对照度, 用  $\epsilon_h$  表示, 其计算式为

$$\epsilon_h = \frac{I_{0,0}}{l} \cos^2 \theta \quad (\text{AF}) \quad (7.6-27)$$

式 (7.6-27) 也可用下列函数表示, 即

$$\epsilon_h = f\left(\frac{D}{h}, \frac{l}{h}\right)$$

按此相互对应关系则可制成等照度曲线图。

应用  $\epsilon_h$  计算水平面照度  $E_h$  时, 因高度  $h \neq 1\text{m}$  时, 光通量  $\Phi \neq 1000\text{lm}$ , 故计算公式应为

$$E_h = \frac{\Phi \sum \epsilon_h K}{1000h} \quad (7.6-28)$$

式中,  $\Phi$  为光源总光通量, lm;  $\sum \epsilon_h$  为各光源对计算点产生的相对照度算术和, lx;  $h$  为光源计算高度, m;  $K$  为灯具的维护系数。

对于不连续线光源, 当各段光源 (灯具) 间距较小时, 可按连续光源处理。此时水平面相对照度  $\epsilon_h$  应乘以修正系数  $C$ ,  $C$  值计算同式 (7.6-25)。

## 3 面光源的点照度计算

### 3.1 概述

面光源的点照度计算可将光源划分为若干个线光源或点光源, 用相应的线光源照度计算法或点光源照度计算法分别计算后, 再行叠加。对于最常见的矩形面光源和圆形面光源已经导出通用公式并编制了图表, 便于求出某点的照度。

### 3.2 矩形等亮度面光源的点照度计算

一个矩形面光源的长、宽分别与  $a$  和  $b$ , 亮度在各个方向都相等。光源的一个顶角在与光源平行的被照面上的投影为  $P$ , 如图 7.6-13 所示。

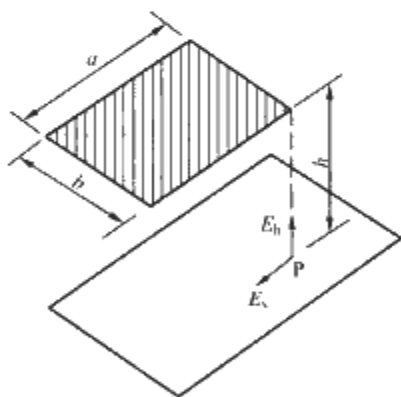


图 7.6-13 矩形等亮度面光源的点照度计算

水平面照度  $E_h$  的计算公式为

$$E_h = \frac{L}{2} \left[ \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \arctan \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} + \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \arctan \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right] = L f_h \quad (7.6-29)$$

$$X = \frac{a}{h}, Y = \frac{b}{h}$$

式中,  $E_h$  为与面光源平行的被照面上  $P$  点的水平面照度, lx;  $L$  为面光源的亮度,  $\text{cd}/\text{m}^2$ ;  $f_h$  为立体角投影率, 或称形状因数, 可从图 7.6-14 中查出。

如果计算点并非位于矩形光源顶点的投影上, 则其照度

可由组合法求得。如图 7.6-15 所示,  $P_1$  点的照度应为 A、B、C、D 四个矩形面光源分别对  $P_1$  点所形成的照度之和, 即

$$E_{h, P_1} = E_{h, A_1} + E_{h, B_1} + E_{h, C_1} + E_{h, D_1} \quad (7.6-30)$$

$P_2$  点的照度是 A、B、C、D、E 组成的矩形面光源对  $P_2$  点所形成的照度, 减去矩形面光源 E 对  $P_2$  点所形成的照度

$$E_{h, P_2} = E_h \cdot (A+B+C+D+E) \cdot 2 - E_{h, E} \cdot 2 \quad (7.6-31)$$

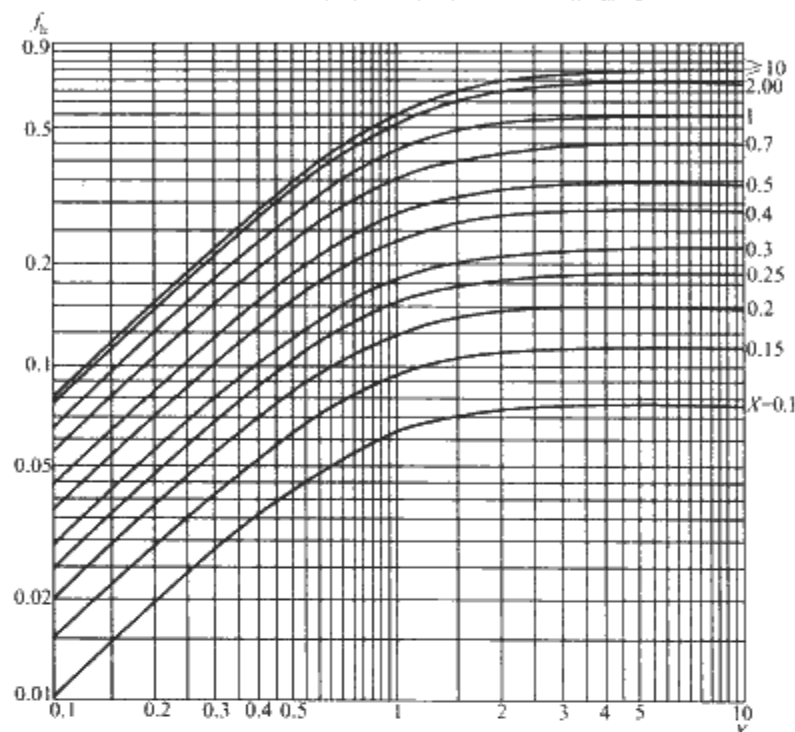


图 7.6-14 计算水平面照度的形状因数  $f_h$  与  $X$ 、 $Y$  的关系曲线

## 4 平均照度的计算

### 4.1 概述

平均照度的计算通常应用利用系数法, 该方法考虑了由光源直接投射到工作面上的光通量和经过室内表面相互反射后再投射到工作面上的光通量。利用系数法适用于灯具均匀布置、墙和天棚反射系数较高、空间无大型设备遮挡的室内一般照明, 但也适用于灯具均匀布置的室外照明, 该方法计算比较准确。

### 4.2 利用系数法

(1) 应用利用系数法计算平均照度的基本公式

$$E_{av} = \frac{N\Phi UK}{A} \quad (7.6-32)$$

式中,  $E_{av}$  为工作面上的平均照度;  $\Phi$  为光源光通量;  $N$  为光源数量;  $U$  为利用系数;  $A$  为工作面面积;  $K$  为灯具的维护系数。

(2) 利用系数  $U$

利用系数是投射到工作面上的光通量与自光源发射出的光通量之比, 可由下式计算。

$$U = \frac{\Phi_1}{\Phi} \quad (7.6-33)$$

式中,  $\Phi$  为光源的光通量;  $\Phi_1$  为自光源发射, 最后投射到工作面上的光通量。

(3) 室内空间的表示方法

室内空间的划分如图 7.6-15 所示。室空间比

$$\text{RCR} = \frac{5h_r (l+b)}{lb} \quad (7.6-34)$$

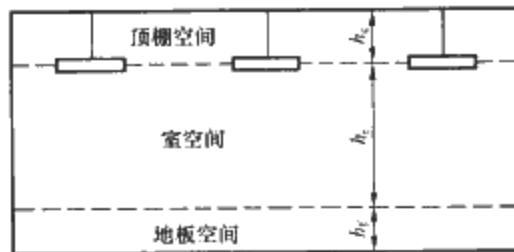


图 7.6-15 室内空间的划分

顶棚空间比

$$CCR = \frac{5h_c(l+b)}{lb} = \frac{h_c}{h_r} RCR \quad (7.6-35)$$

地板空间比

$$FCR = \frac{5h_f(l+b)}{lb} = \frac{h_f}{h_r} RCR \quad (7.6-36)$$

式中， $l$  为室长； $b$  为室宽； $h_c$  为顶棚空间高； $h_r$  为室空间高； $h_f$  为地板空间高。

当房间不是正六面体时，因为墙面积  $= 2h_r(l+b)$ ，地面积  $= lb$ ，则式 (7.6-34) 可改写为

$$RCR = \frac{2.5 \times \text{墙面积}}{\text{地面积}} \quad (7.6-37)$$

## (4) 有效空间反射比和墙面平均反射比

为使计算简化，将顶棚空间视为位于灯具平面上，且具有有效反射比  $\rho_{ce}$  的假想平面。同样，将地板空间视为位于工作面上，且具有有效反射比  $\rho_{fe}$  的假想平面，光在假想平面上的反射效果同实际效果一样。有效空间反射比由下式计算

$$\rho_{eff} = \frac{\rho A_0}{A_s - \rho A_s + \rho A_0} \quad (7.6-38)$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N \rho_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (7.6-39)$$

以上式中， $\rho_{eff}$  为有效空间反射比； $A_0$  为空间开口平面面积； $A_s$  为空间表面面积； $\rho$  为空间表面平均反射比； $\rho_i$  为第  $i$  个表面反射比； $A_i$  为第  $i$  个表面面积； $N$  为表面数量。

若已知空间表面（地板、顶棚或墙面）反射比（ $\rho_f$ 、 $\rho_c$  或  $\rho_w$ ）及空间比，即可从事先算好的表上求出空间有效反射比。

为简化计算，把墙面看成一个均匀的漫射表面，将窗子或墙上的装饰品等综合考虑，求出墙面平均反射比来体现整个墙面的反射条件。墙面平均反射比由下式计算

$$\rho_{wuv} = \frac{\rho_w(A_w - A_g) + \rho_g A_g}{A_w} \quad (7.6-40)$$

式中， $A_w$ 、 $\rho_w$  为墙的总面积（包括窗面积）和墙面反射比， $m^2$ ； $A_g$ 、 $\rho_g$  为玻璃窗或装饰物的面积和玻璃窗或装饰物的反射比， $m^2$ 。

## (5) 利用系数 (U) 表

利用系数是灯具光强分布、灯具效率、房间形状、室内表面反射比的函数，计算比较复杂。为此常按一定条件编制灯具利用系数表（见表 7.6-5）以供设计使用。

查表时允许采用内插法计算。表 7.6-5 上所列的利用系数是在地板空间反射比为 0.1 时的数值，若地板空间反射比不是 0.1 时，则应用适当地修正系数进行修正。若计算精度要求不高，也可不作修正。

表 7.6-11 中有效顶棚反射比以及墙面反射比均为零的利用系数，用于室外照明计算。

应用利用系数法计算平均照度的步骤如下：

- ① 填写原始数据。
- ② 由式 (7.6-34) ~ 式 (7.6-36) 计算空间比。
- ③ 由式 (7.6-38) 求有效顶棚空间反射比。
- ④ 由式 (7.6-40) 计算墙面平均反射比。
- ⑤ 查灯具维护系数。
- ⑥ 由利用系数表查利用系数。
- ⑦ 由式 (7.6-32) 计算平均照度。

表 7.6-5

利用系数表 (U) JFC42848 型灯具  $L/h=1.63$ 

有效顶棚反射比 (%)	80				70				50				30				0
墙反射比 (%)	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	0
地面反射比 (%)	10				10				10				10				0
RCR/RI																	
8.33/0.6	0.40	0.29	0.23	0.18	0.38	0.28	0.22	0.18	0.35	0.27	0.21	0.17	0.32	0.25	0.20	0.17	0.14
6.25/0.8	0.47	0.37	0.30	0.26	0.45	0.36	0.30	0.25	0.41	0.34	0.28	0.24	0.38	0.31	0.27	0.23	0.20
5.0/1.0	0.52	0.43	0.36	0.31	0.50	0.41	0.35	0.30	0.46	0.38	0.33	0.29	0.42	0.36	0.31	0.28	0.24
4.0/1.25	0.57	0.48	0.41	0.36	0.54	0.46	0.40	0.36	0.50	0.43	0.38	0.34	0.46	0.40	0.36	0.32	0.29
3.33/1.5	0.60	0.52	0.46	0.41	0.58	0.50	0.44	0.40	0.53	0.47	0.42	0.38	0.49	0.44	0.40	0.36	0.32
2.50/2.0	0.65	0.58	0.52	0.47	0.62	0.56	0.51	0.46	0.57	0.52	0.48	0.44	0.53	0.49	0.45	0.42	0.38
2.0/2.5	0.68	0.62	0.56	0.52	0.65	0.60	0.55	0.52	0.60	0.56	0.52	0.48	0.56	0.52	0.49	0.46	0.41
1.67/3.0	0.70	0.64	0.60	0.56	0.67	0.62	0.58	0.51	0.62	0.58	0.55	0.52	0.58	0.55	0.52	0.49	0.44
1.25/4.0	0.72	0.68	0.64	0.61	0.70	0.66	0.62	0.59	0.65	0.62	0.59	0.56	0.61	0.58	0.56	0.53	0.48
1.0/5.0	0.74	0.70	0.67	0.64	0.72	0.68	0.65	0.62	0.67	0.64	0.62	0.59	0.63	0.60	0.58	0.56	0.51
0.714/7.0	0.76	0.73	0.71	0.68	0.74	0.71	0.69	0.67	0.69	0.67	0.65	0.63	0.65	0.63	0.61	0.60	0.54
0.5/10.0	0.78	0.76	0.74	0.72	0.76	0.74	0.72	0.70	0.71	0.69	0.68	0.66	0.67	0.65	0.64	0.63	0.57

### (6) 灯数概算曲线

根据式 (7.6-32), 灯数可按式 (7.6-41) 计算

$$N = \frac{E_{av} A}{\Phi U K} \quad (7.6-41)$$

式中符号的意义同前。

对于某种灯具, 已知其光源的光通量, 并假定照度是 100lx, 房间的长宽比、表面的反射比以及灯具吊挂高度固定, 即可编制出灯数  $N$  与工作面面积关系曲线 (见图 7.6-19), 称为灯数概算曲线。这些曲线使用便利, 但计算精度稍差。

如果所需照度值不是 100lx 时, 则所求灯数可由下式计算

$$N = \text{由概算曲线上查出的灯数} \times \frac{\text{实际照度值}}{100} \quad (7.6-42)$$

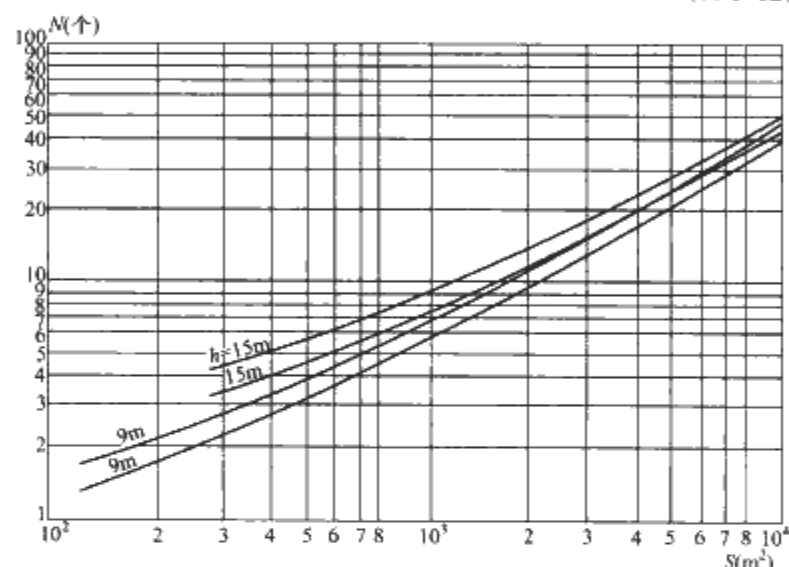


图 7.6-19 灯数概算曲线 [RJ-GC888-D8-B (400W) 型灯具]

## 5 单位容量计算

### 5.1 概述

在做方案设计或初步设计阶段, 需要估算照明用电量, 往往采用单位容量计算, 在允许计算误差下, 达到简化照明计算程序的目的。

单位容量计算是以达到设计照度时 1m² 需要安装的电功率 (W/m²) 或光通量 (lm/m²) 来表示。通常将其编制成计算表格, 以便应用。

### 5.2 单位容量计算

单位容量的基本公式如下

$$\left. \begin{aligned} P &= P_0 A E \\ \Phi &= \Phi_0 A E \\ P &= P_0 A E C_1 C_2 C_3 \end{aligned} \right\} \quad (7.6-43)$$

式中,  $P$  为在设计照度条件下房间需要安装的最低电功率, W;  $P_0$  为照度为 1lx 时的单位容量, W/m², 其值查表 5-8, 当采用高压气体放电光源时, 按 40W 荧光灯的  $P_0$  值计算;  $A$  为房间面积, m²;  $E$  为设计照度 (平均照度), lx;  $\Phi$  为在设计照度条件下房间需要的光源总光通量, lm;  $\Phi_0$  为照度达到 1lx 时所需的单位光辐射量, lm/m²;  $C_1$  为当房间内各部分的光反射比不同时的修正系数, 其值查表 7.6-6;  $C_2$  为当光源不是 100W 的白炽灯或 40W 的荧光灯时的调整系

数, 其值查表 7.6-7;  $C_3$  为当灯具效率不是 70% 时的校正系数, 当  $\eta=60\%$  时  $C_3=1.22$ , 当  $\eta=50\%$  时  $C_3=1.47$ 。

表 7.6-6 房间内各部分的光反射比不同时的修正系数  $C_1$

反射比	顶棚 $\rho_c$	0.7	0.6	0.4
	墙面 $\rho_w$	0.4	0.4	0.3
	地板 $\rho_f$	0.2	0.2	0.2
$C_1$		1	1.08	1.27

表 7.6-7 当光源不是 100W 的白炽灯或 40W 的荧光灯时的调整系数  $C_2$

光源类型及额定功率 (W)	白炽灯 (220V)					卤钨灯 (220V)			
	15	25	40	60	100	500	1000	1500	2000
$C_2$	1.7	1.42	1.34	1.19	1	0.64	0.6	0.6	0.6
额定光通量 (lm)	110	220	350	630	1250	9750	21 000	31 500	42 000
光源类型及额定功率 (W)	紧凑型荧光灯 (220V)					紧凑型节能荧光灯 (220V)			
	10	13	18	26	18	24	36	40	55
$C_2$	1.071	0.929	0.964	0.929	0.9	0.8	0.745	0.686	0.688
额定光通量 (lm)	560	840	1120	1680	1200	1800	2900	3500	4800
光源类型及额定功率 (W)	T5 荧光灯 (220V)					T5 荧光灯 (220V)			
	14	21	28	35	24	39	49	54	80
$C_2$	0.764	0.72	0.70	0.677	0.873	0.793	0.717	0.762	0.820
额定光通量 (lm)	1100	1750	2400	3100	1650	2950	4100	4250	5850
光源类型及额定功率 (W)	T8 荧光灯 (220V)					T8 荧光灯 (220V)			
	18	30	36	58	50	90	125	250	400
$C_2$	0.857	0.783	0.675	0.696	1.695	1.333	1.210	1.181	1.091
额定光通量 (lm)	1260	2300	3200	5000	1770	3600	6200	12 700	22 000
光源类型及额定功率 (W)	金属卤化物灯 (220V)								
	35	70	150	250	400	1000	2000		
$C_2$	0.636	0.700	0.709	0.750	0.750	0.750	0.600		
额定光通量 (lm)	3300	6000	12 700	20 000	32 000	80 000	200 000		
光源类型及额定功率 (W)	高压钠灯 (220V)								
	50	70	150	250	400	600	1000		
$C_2$	0.857	0.750	0.621	0.556	0.500	0.450	0.462		
额定光通量 (lm)	3500	5600	14 500	27 000	48 000	80 000	130 000		

### 5.3 单位容量计算表的编制条件

表 7.6-8 单位容量计算表是在比较各类常用灯具效率与利用系数关系的基础上, 按照下列条件编制的:

- 1) 室内顶棚反射比  $\rho_c$  为 70%; 墙面反射比  $\rho_w$  为 50%; 地板反射比  $\rho_f$  为 20%。
- 2) 计算平均照度  $E$  为 1lx, 灯具维护系数  $K$  为 0.7。
- 3) 白炽灯的光效为 12.5lm/W (220V, 100W), 荧光灯的光效为 60lm/W (220V, 40W)。
- 4) 灯具效率不小于 70%, 当装有遮光格栅时不小于 55%。
- 5) 灯具配光分类符合国际照明委员会的规定, 见表 7.6-9。

表 7.6-8 单位容量  $P_0$  计算表

室空间比 RCR(室形 指数 RI)	直接型配光灯具		半直接型 配光灯具	均匀漫射型 配光灯具	半间接型 配光灯具	间接型 配光灯具
	$S \leq 0.9h$	$S \leq 1.3h$				
8.33 (0.6)	0.430 8 0.089 7 5.384 6	0.400 0 0.083 3 5.000 0	0.430 8 0.089 7 5.384 6	0.430 8 0.089 7 5.384 6	0.622 5 0.129 2 7.778 3	0.700 1 0.145 4 7.750 6
6.25 (0.8)	0.350 0 0.072 9 4.375 0	0.311 1 0.064 8 3.888 9	0.350 0 0.072 9 4.375 0	0.339 4 0.070 7 4.242 4	0.509 4 0.105 5 6.364 1	0.560 0 0.116 3 7.000 5
5.0 (1.0)	0.311 1 0.064 8 3.888 9	0.273 2 0.056 9 3.414 6	0.294 7 0.061 4 3.684 2	0.287 2 0.059 8 3.589 7	0.430 8 0.089 4 5.385 0	0.486 8 0.101 2 6.087 4
4.0 (1.25)	0.273 2 0.056 9 3.414 6	0.238 3 0.049 6 2.978 7	0.266 7 0.055 6 3.333 3	0.248 9 0.051 9 3.111 1	0.369 4 0.080 8 4.828 0	0.399 6 0.082 9 5.000 4
3.33 (1.5)	0.248 9 0.051 9 3.111 1	0.219 6 0.045 8 2.745 1	0.243 5 0.050 7 3.043 5	0.228 6 0.047 6 2.857 1	0.350 0 0.073 2 4.375 3	0.369 4 0.080 8 4.828 0
2.5 (2.0)	0.224 0 0.046 7 2.800 0	0.196 5 0.040 9 2.456 1	0.215 4 0.044 9 2.692 3	0.200 0 0.041 7 2.500 0	0.319 9 0.066 8 4.000 3	0.350 0 0.073 2 4.375 3

续表

室空间比 RCR(室形 指数 RI)	直接型配光灯具		半直接型 配光灯具	均匀漫射型 配光灯具	半间接型 配光灯具	间接型 配光灯具
	$S \leq 0.9h$	$S \leq 1.3h$				
1.67 (3.0)	0.203 6 0.042 4 2.545 5	0.175 0 0.036 5 2.187 5	0.189 8 0.039 5 2.372 9	0.175 0 0.036 5 2.187 5	0.267 1 0.056 0 3.333 5	0.295 1 0.061 4 3.684 5
1.43 (3.5)	0.196 7 0.041 0 2.459 2	0.169 8 0.035 4 2.123 2	0.183 8 0.038 3 2.297 6	0.168 7 0.035 1 2.108 3	0.254 2 0.052 8 3.182 0	0.280 0 0.058 2 3.500 3
1.25 (4.0)	0.189 8 0.039 5 2.372 9	0.164 7 0.034 3 2.058 8	0.177 8 0.037 0 2.222 2	0.163 2 0.033 8 2.029 0	0.243 4 0.050 6 3.043 6	0.267 1 0.056 0 3.333 5
1.11 (4.5)	0.188 3 0.039 2 2.352 1	0.161 2 0.033 6 2.015 3	0.173 8 0.036 2 2.171 7	0.159 0 0.033 1 1.986 7	0.238 6 0.049 5 2.980 4	0.260 6 0.054 4 3.257 8
1 (5.0)	0.186 7 0.038 9 2.333 3	0.157 7 0.032 9 1.971 8	0.169 7 0.035 4 2.121 2	0.155 6 0.032 4 1.944 4	0.233 7 0.048 5 2.916 8	0.254 2 0.052 8 3.182 0

注 1. 表中  $S$  为灯距,  $h$  为计算高度。2. 表中每格所列三个数字由上至下依次为: 选用 100W 白炽灯的单位电功率 ( $W/m^2$ ); 选用 40W 荧光灯的单位电功率 ( $W/m^2$ ); 单位光辐射量 ( $lm/m^2$ )。

表 7.6-9

常用灯具配光分类表 (符合国际照明委员会规定)

灯具配光 分类	直接型		半直接型	均匀漫射型	半间接型	间接型
	上射光通量 0~10% 下射光通量 100%~90%		上射光通量 10%~40% 下射光通量 90%~60%	上射光通量 60%~40% 40%~60% 下射光通量 40%~60% 60%~40%	上射光通量 60%~90% 下射光通量 40%~10%	上射光通量 90%~100% 下射光通量 10%~0
	S≤0.9h	S≤1.3h				
所属灯 具举例	嵌入式遮光格栅 荧光灯 圆格栅吸顶灯 广照型防水防尘 灯 防潮吸顶灯	控照式荧光灯 搪瓷探照灯 镜面探照灯 探照型防振灯 配照型工厂灯 防震灯	筒式荧光灯 纱罩单吊灯 塑料碗罩灯 塑料伞罩灯 尖扁圆吸顶灯 方形吸顶灯	平口橄榄罩吊灯 束腰单吊灯 圆球单吊灯 枫叶罩单吊灯 彩灯	伞形罩单吊灯	

注  $S$ 、 $h$  的含义同表 7.6-14。



## 第7章 居住建筑照明

居住建筑是人们居住和生活的环境，是狭义理解上的“家”，直接关系到人们的日常生活。随着生活节奏的加快，人们对于居住建筑环境的关心以及居住建筑环境对人们日常生活的影响也越来越突出。

居住建筑照明与人们的年龄、心理和要求有关。它不仅是一个明、暗的处理，而是与家庭成员的组成结构、人数、职业、学历、年龄等有关，也与房间的层次、朝向、面积、布局、功能、装修、装饰、家具等有关。因此仅仅考虑某一照度标准而简单处理的方法不能满足现实情况下人们对于居住建筑照明的需求。我们要结合以上各方面内容对居住建筑照明做综合设计，使其有机地结合在居住建筑的环境之中。

### 1 居住建筑光环境及其平衡

#### 1.1 光线是居住建筑舒适度的一个重要参数

人们习惯于在明亮的光线下生活、学习、工作，而阳光为我们提供了良好的照明条件。因此采用大面积开窗、天窗或天井、落地玻璃窗、玻璃屋顶等方式就成为尽可能利用阳光的手段。在白天我们尽可以利用自然光线，而夜晚时就需要使用照明灯具来达到人们对光线的渴望。

我们不仅要利用照明灯具来达到视觉上的舒适，而且还从它所照亮的环境中获得情绪上的反响。高照度的照明会形成令人兴奋的气氛；低照度的照明则容易造成松弛、亲切的气氛。采用不同形式的照明灯具设置，与居住建筑的格局以及内部的装修、装饰、家具相呼应，通过不同性质的光源，利用其颜色和照度的变化等作为技术手段，辅以灵活多变的控制方式，形成适用于不同格调、不同氛围的光环境，使人们从视觉上及心灵感受上获得愉悦。

#### 1.2 光的颜色是构成环境气氛的重要因素之一

不同的光环境给人的感受不同，如令人身心松弛、倍感温馨的低照度暖色光；令人兴奋、风格华丽的高照度暖色光；令人精神紧张、集中的高照度冷色光等，充分利用照明设计的功效，可以营造出人们所需要的各种氛围。

#### 1.3 居住建筑光环境设计是一个整体概念

各种功能的房间都有着不同的用途，仅仅从某一点或某一间出发的片面设计，会造成整体光环境的失衡。对于不同面积、功能的房间要采用不同的手段突出重点，消除不利因素。

1) 亮度过高的走廊势必会对周围房间产生影响，造成亮度失衡；面积狭小的房间仅通过一般照明势必会使房间变得更加局促、死板，失掉居住建筑应有的温馨、宁静的特性。因此要创造重点，突出中心感。

2) 在房间顶板上安装照明灯具，从配光曲线分布便可自然地分化出房间的重点与周围环境，但一定要保证光源的中心与装饰的中心处在同一位置，否则人们的视线被吸引到光源所在，却发现那里并非装饰的重点，房间的完整性便被

破坏了。餐厅的灯具设置于房间中央，却非餐桌上方，人们便很难感到环境和谐统一了。

3) 在辅助灯具中适当地采用调光设备，对房间内的主要照明灯具进行烘托，通过人们对光线的视觉追踪，便很容易让人在灯光的明暗变化中感觉到空间尺度的变化。

4) 在适当的位置增加壁灯等局部照明灯具，以弥补因主灯照明范围的限制造成空间狭小的感觉，起到了消除墙面的压迫感、增大了生活空间的效果。

因此可以看出，灯具的安装位置不同，光环境平衡性会发生变化，也会带来不同的效果，制造出不同的氛围。例如：壁灯的安装高度应在通常的视线范围内，如果高度超过1.8m，便只是一般顶棚照明的延伸，而失掉其对居住功能进行调节的各种效果。

### 2 居住建筑照明设计的基本原则

居住建筑照明首先要满足建筑内各种功能及用途的照度要求，其次根据人们日常生活的需求，通过平衡的光环境营造出各种与生活相适应的氛围。人们通过长时期的生产、生活实践，对于居住建筑内的照明设计总结出下列几项原则。

#### (1) 满足各项使用功能的照度

不满足此条，居住建筑照明设计便失去了意义。

#### (2) 居住建筑内光环境照度的平衡

照度的平衡并不意味着平均，合理的照度分配、光源选择及灯具布置是为了更好地体现所设计的环境特点。同时考虑眩光的限制、光源的颜色及其显色性、日光的利用率等，均是平衡性的体现。

#### (3) 通过以上原则烘托出居住建筑内的生活氛围

居住建筑照明设计的一个很重要的方面便是通过光影的变化，在有限的空间内给人以更多的环境气氛享受，而一个好的照明设计也是通过此条的实践所体现。

#### (4) 光源和照明灯具应可靠且易于维修

居住建筑照明光源及灯具的使用频率是极高的，且使用主体是普通的居民，过于特殊的光源或灯具一旦损坏，如果无法通过简便的途径予以修复，势必会影响人们的正常生活。

#### (5) 灯具及光源的选择应经济合理

设计安装阶段应合理地设置灯具数量，尽可能减少初投资费用；应选择高效节能光源和灯具，降低后期的使用费用，同时还可以节约日益紧缺的能源。例如：荧光灯或紧凑型节能荧光灯效率高于白炽灯，但白炽灯在很多场所能提供比荧光灯更为突出的效果，因此它的选用就要斟酌而定。在面积较大或多功能房间内，适当地增加灯具数量，通过不同活动开启不同范围内灯具的方式也是一种节能手段，其做法也是经济的。

#### (6) 照明灯具开关的选择及布设的位置应合理

多年的生活习惯使人们对于灯具操作具有一定的模式，研究人们的生活规律，合理地在起居流线上设置多种控制方式的灯具开关，会起到锦上添花的作用。例如：卧室的开关

置于室内,而其他功能房间的开关设于室外;在卧室的床头及门口设置双控开关;在室内走道两端设置双控开关;在室内楼梯设置双控或多控开关;在门厅处设置红外开关;在起居室或客厅内设置总线式开关等。

### 3 居住建筑照明的方式和种类

目前居住建筑照明多是分析室内特殊环境下的照明需求来决定设计方案及照度,但并不意味着一般照明不重要,一般与局部并重才是最佳方式。

#### 3.1 一般照明与局部照明

1) 一般照明采取在顶棚直接设置灯具的方式,通过直接或间接的照明方式为房间内的视觉活动提供全部照度,并在室内墙面和家具的垂直面形成一定照度水平,提高室内照度均匀度,通过光影呈现出室内家具陈设的自然状态。对于室内的活动场所,则并非要达到某种照度均匀度,而是采用多变和吸引人的照明方式,创造令人愉悦、温馨的照明环境,用于不同的家庭活动,例如欣赏影音作品、家庭成员娱乐等。一般照明分为直接或间接照明方式,例如:顶棚直接设置向下照的直接照明;顶棚或墙面暗藏灯槽的间接照明;落地灯向顶棚照射的漫射照明等。

2) 局部照明是在一般照明的基础上对照度需求较高的工作区域照明的加强,如阅读、学习、梳妆等区域。局部照明要求有足够的照度,适当的位置,避免因高照度产生眩光,并应注意在使用局部照明时的照度均匀度,即其周围环境亮度应保持工作区亮度的 $1/3$ ,对比不能太强烈,以便能获得轻松、舒适的工作照明。照明灯具可采用筒灯、台灯、落地灯、悬挂灯等。

3) 对于照度标准较高的视觉工作场所,可大面积采用一般照明,在工作面设置局部照明,既达到了高标准的照度要求,又由于有一般与局部照明相结合而使二者比例适当,避免照度均匀度失衡。

#### 3.2 重点及装饰照明

1) 为了突出某些特定物品或建筑装修材质、做法,通过特定的照明灯具对其进行照射,产生较强烈的光影变化,突出其立体造型,达到主人对其要求的刻画效果,这就是重点照明。它的对象可以是建筑或装饰、装修的某一部分,例如:建筑构件、装修手法、装饰材质,具体到屋内的各种陈设、雕塑、瓷器、绘画、丝织品等。它主要取决于主人的喜好和设计师对装修风格的理解。重点照明主要通过安装于顶棚上、墙面或支架等部位上的灯具,如筒灯、射灯、壁灯、导轨灯等来达到一灯一点或多灯一点的照明效果。其光源多为白炽灯、低压卤钨灯等,照明值是一般照明照度的5倍。

2) 装饰照明则是在房间内的特定地点,利用灯具本身特有的艺术造型和其产生光线的变化对房间的装饰起到画龙点睛的作用。其光线对于室内气氛的烘托作用使室内造型富于变化,令人置身其中能感受到其设计的氛围。

3) 装饰灯具主要考虑其造型、尺寸、光源形式、安装方式及位置,以及所要达到的艺术效果等。例如:豪华的水晶吊灯、欧式的枝型花灯等,通过其华丽、典雅的外形,内部光源容量、样式的变化烘托室内的氛围。同样,造型精美、制作工艺精良的壁灯、台灯、落地灯等既可以作为局部或重点照明,也可以作为装饰照明的一部分,二者之间并无严格意义上的界限。

## 4 居住建筑照明灯具及光源的选择

### 4.1 照明的光影变换

照明利用光影的变换效果,创造出与阳光下所不同的夜间画面。直接照明创造出光影效果,间接照明得到柔和光线,半直接照明利用透射光减少眩光等,这些手法使房间内保持着平均亮度,同时突出重点。上述效果是通过不同类型的光源及灯具来实现的,因此在居住建筑照明中光源及灯具就尤为重要。

### 4.2 居住建筑照明光源

#### (1) 居住建筑照明光源选择

居住建筑照明多以小功率光源为主,以照明标准、光源颜色、形状及显色性、开关频繁程度、使用时间长短、经济及节能效果等多方面作为选择的出发点。

现代居住建筑内常用光源有白炽灯、低压卤钨灯、紧凑型节能荧光灯、直管式荧光灯和环形荧光灯等。

人们首先必须考虑室内功能及装饰、装修的特点、色彩、手法等,并结合自己的性格爱好、生活及工作特点来选择光色。

灯光对环境色彩有明显调节的效果,红、黄等暖色在白炽灯照射下会光彩夺目,用荧光灯照明会把原来的色彩冲淡许多,如果是冷色调墙面配以暖色调光源可以起到协调的作用,相反则会产生更加清冷的氛围。如果室内装饰色调以红、黄等暖色调为主,则应选择色温较低的光源(如白炽灯),增加温暖、华丽的气氛。

居住建筑室内照明宜采用高效及高显色性光源,这样才能在节能的同时使被照物体的色彩充分显现。设计中所采用的光源还应考虑其色温的影响。当光源的色温低时,形成温暖、欢快、温馨的环境氛围,相反,则形成清凉、畅快的环境氛围,所以利用光源不同色温的组合变化可以创造不同的照明环境。

#### (2) 常用光源特点

1) 荧光灯具有光效高、寿命长、光线柔和等特点,适用于照度较高的一般照明场所,开关不频繁且连续点亮时间长的场所,局部照明书写用的台灯光源,厨房的局部照明、梳妆照明等。荧光灯可使人产生宽敞明亮的感觉,对于小房间和夏季照明有一定的优势。

2) 白炽灯具有暖色调、显色性好、使用简单、便于调光,允许频繁开关、本身造型美观多样、价格便宜等特点。其优越的显色性适于餐厅照明,以突出食物的色泽;外形多变且易于调光,适于各类装饰及多用途照明。暖色调的光线令梳妆、浴室照明更加自然;低照度暖色光用于卧室照明给人以温馨、舒适感觉,也适用于走廊、门厅、厨房、厕所等频繁开关的场所照明。荧光灯和白炽灯交替使用可以互补,以适合不同季节不同环境对不同光色的需求。

3) 低压卤钨灯具有光线鲜艳明亮、凝聚性良好、显色性优越、尺寸紧凑、寿命长于白炽灯、效率高、便于调光等特点,可作为重点及装饰用照明。低压卤钨灯安装于射灯及导轨灯等局内时调节灵活使用方便,适于需调节的场所。

#### (3) 光源节能

光源的选择还有一个很重要的方面是节能。目前市场上常见的紧凑型荧光灯或直管型荧光灯的节能效果均优于白炽灯,其中紧凑型荧灯光效比白炽灯高4~5倍,而且光色也有多种选择,显色性也可高于规范所规定的 $Ra \geq 80$ ,因

此在居住建筑照明中，应优先考虑使用。细管型直管荧光灯结合电子镇流器，比普通荧光灯采用电感式镇流器节能20%左右，作为厨卫照明和房间内的反射照明时也应优先考虑。

4.3 居住建筑照明灯具选择

居住建筑照明所用的灯具应易于安装、维修，而且经济节能，常用的有以下几类：嵌入式灯具、吸顶式灯具、轨道安装灯具、吊灯、壁灯、台灯、落地灯、建筑结构性照明装置。建筑结构性照明装置即安装于装修或装饰构建内，通过反射、漫射方式，采取透光或半透光的手法达到照明的效果。灯具的选择应结合其房间内部的装饰、装修的效果，参考顶棚、墙面、地面的反射系数来综合确定。

在进行居住建筑照明设计时，要根据不同的使用人群，分析其性别、年龄、工作特点及生活习惯进行策划，在满足规范及节能要求的条件下，从照度、照度均匀度、眩光、光源颜色、反射比等多方面选配高效照明灯具及光源，合理地分配其位置及安装方式。

5 居住建筑照明设计

居住建筑照明设计应先充分了解业主的需求，并与建筑或装修设计人员交换意见，充分研究影响照明设计的各种因素，在此基础上确定照明系统的形式、光源的类型、灯具的样式和灯具布置方案等。

选择正确的照明方式，有利于表现室内结构的轮廓、空间、层次及家具的主题形象。

5.1 照明标准及质量

居住建筑内不同功能房间或分区内的日常生活活动有着高低不同的照度要求。照度的选择要使得在该室内进行的工作或活动能够舒适、自如地进行，并且能够持久而无不舒适感。照明设计要依据居住建筑的视觉要求及环境效果来确定照度，以室内活动能够舒适自如地进行作为着眼点，并应注意到各房间亮度的平衡。

居住建筑一般照度标准值应符合《建筑照明设计标准》(GB 50034—2004)中表 5.1.1 的规定(见表 7.7-1)。

表 7.7-1 居住建筑照度标准

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值 (lx)	Ra
起居室	一般活动	0.75m 水平面	100	80
	书写、阅读		300*	
卧室	一般活动	0.75m 水平面	75	80
	床头、阅读		150*	
餐厅		0.75m 餐桌面	150	80
厨房	一般活动	0.75m 水平面	100	80
	操作台	台面	150*	
卫生间		0.75m 水平面	100	80

注 \* 宜用混合照明。

以上的照度要求，是实现房间最基本的功能，由此而进一步地完善房间内部的照明设计。照度确定应根据不同标准的居住建筑作相应调整。多功能、多用途房间宜装设多种灯具，并采用多种控制形式或控制组合以求得到不同的照度。

照明设计要按照最后确定的总体布灯方案，对室内的平均照度、照度均匀度和作业面上的照度进行计算，看是否符合照度标准的要求，必要时，可对室内的亮度分布、作业面

上的对比度以及眩光进行计算和验算，也可在安装完毕后进行实地测量。

相对独立的视觉范围由工作面区域、紧围绕着工作面的区域、房间的总体环境三方面构成，三个区域照度均匀度的亮度比不合适，将使人心情烦闷、视觉疲劳，甚至有观看困难的感觉。一般照明照度均匀度应不小于 0.7，而工作面邻近周围的照度均匀度应不小于 0.5。

为避免眩光，不宜将灯具安装在干扰区内，应采用低光泽度的表面装饰材料，限制灯具亮度，照亮顶棚和墙表面，但要避免出现光斑。

居住建筑内照明光源的显色指数(Ra)不宜小于 80，宜采用色温小于 3300K 的暖色光源。

房间的表面反射比宜采用规范中所给定范围内的数值见表 7.7-2。

表 7.7-2 房间表面反射比

表面名称	反射比
顶棚	0.6~0.9
墙面	0.3~0.8
地面	0.1~0.5
作业面	0.2~0.6

5.2 居住建筑照明方式、灯具布置方案及控制

选择合理且适合的照明和灯具布置方案，其光环境要有利于表现室内建筑装饰的轮廓、空间、层次以及家具、装饰的形象，烘托出所要表达的气氛。在一般照明设计考虑已经成熟的前提下，针对局部不同的功能要求，选择特定照度、光源的光色以及灯具形式、安装方式等，形成必要的局部照明、重点照明或装饰照明。

居住建筑内部照明灯具的控制从一次动作所控制的灯具数量上分，可以分为单灯或数灯控制和单支路、多支路同时控制等几种情况，后者一般在居住建筑内部较少使用，多用于较大空间的室内或室外设计。如果从某一套灯具或某一批灯具控制位置上划分，又分为单控、双控和多控三种。从控制手段上可以分为电子式和机械式开关，其中电子式开关有红外式、声控式、总线式等方式，机械式开关主要分为拉线式、翘板式及扳把式等方式。

新兴的总线式开关对于照明系统的灵活控制，光影场景的及时变换有着得天独厚的优势，是今后居住建筑照明控制方式的发展方向。居住建筑内部各房间的照明方式如下所述。

(1) 客厅及起居室

客厅是招待客人的房间，注重于安静的气氛，起居室是家庭团聚和休息的场所，比客厅要求更多实质性功能。以目前国内多数居住建筑设计方案来看，起居室实际上担负起了家庭生活起居、家庭成员活动、接待客人等多种功能要求，多种功能的应用使得起居室的照明设计应具有多功能性和可变性。从起居室的装修风格可以看出主人的性格、修养、爱好等很多内涵，不同的家具搭配、不同的颜色对比反映出主人内心的喜好。

1) 高档居住建筑会单独设置客厅，将之与主人及家庭成员的私密活动空间区分开来，因此客厅相对功能较为单一，主要用于与客人的交流。相对而言客厅内面的家具陈设也较为简洁：沙发、茶几、置物柜或架，以及能凸显主人个性及偏好的壁画、陈设等。因此，选用与装修风格相一致的

照明灯具和自然的材质会使会谈场所更为安静平和。对于不同面积的客厅适当选择吸顶或悬挂式灯具,以满足一般照明的要求。对于近距离交流的位置宜适当设置局部照明,例如台灯或落地灯。选用适当的筒灯、射灯或轨道灯对主人所钟爱的装饰物予以塑形,会起到点睛之妙。但房间内的装饰物不宜过分突出或不分重点地照明,且在房间较大时避免在屋顶设置过多的嵌入式灯具,避免仰视灯具带来的眩光及屋内光线过强影响会谈者的视线或思路。客厅一般照明光源宜选用暖色的荧光灯或白炽灯,以免给屋内带来清冷的氛围。

2) 起居室在不同设计定位时有着不同的设计要求。以一般起居室为例,他的功能是多方面的,除了家庭成员的起居生活,还兼有客厅、书房、影音室、游戏室等多种功能,因此里面的家具陈设也是多种多样的,一般有沙发、茶几、书柜、展示柜、低柜、时尚家电等,装饰有艺术品、纪念品、花卉等。不同的家具饰品、房间功能分区、使用条件,甚至使用者不同,意味着不同的灯光要求,因此在灯光设置时应先考虑与环境相和谐的一般照明,然后在各局部按照家具布置、使用功能划分来分别设置局部照明,以满足个性化的需求。同时多种层次的照明、多种角度的光线、多种类型的灯具及光源会使房间内主人的精心摆设更加突出,满足不同使用条件下不同的氛围要求。

① 起居室的多种用途决定了需要经常变换照度及氛围,以产生不同空间效果适应房间当前的使用目的。因此应相应设置多种用途的照明及灯具形式,分别灵活、独立地控制,以满足情景式照明运用的要求。例如:作为家庭成员正常使用时一般照明照度应控制在100lx左右。随着功能变化,不同的灯具或光源发挥作用,表现出起居室内的空间层次感。平时家人在室内欣赏影音节目或小憩,灯光较暗,创造出幽雅温馨的气氛,通过在电视机上部或靠近电视机的地方安装灯具,或者采用壁灯照明附近的墙面,可减少眼睛的疲劳感。须与来客攀谈时则需较高的照度,明亮的环境,便于社交活动,采用一对落地灯或台灯,或带有大漫射罩的吊灯,使谈话聊天的双方能看到对方脸部的细节和眼神,为交谈者提供和谐的照明效果。节日期间亲朋聚会,全室灯具打开,极为明亮,形成兴高采烈的气氛环境。

② 起居室内一般环境照明可采用中央安装的灯具,也可采用暗装式的间接照明。例如:起居室面积较大时宜采用花灯直接照明,其特点是空间亮度较高,灯具艺术性强,且使室内富于豪华气氛。安装方式视房间的建筑条件而定,吊装或吸顶。采用花饰发光顶棚照明,内装荧光灯或白炽灯间接照明,外设半透光材质,其特点是照度均匀、空间亮度较高,但处理不好易同于公共建筑。

③ 台灯一般放在低柜上、小桌上或者茶几上,落地灯一般放在沙发旁或墙角处,它们可以提供良好的阅读照明,还能形成良好的局部环境照明,无论是从照明效果还是空间尺度,其灯具尺寸应较大,这样产生的阴影比较小,与房间的环境更加协调。光源可采用白炽灯或紧凑型荧光灯。灯具除了提供局部照明以外,本身的外形还起装饰作用,增加客厅豪华气派的格调。落地式灯可选择一般型或反射式照明灯,二者所选样式均应起到与环境装修相呼应的作用。

④ 当采用嵌入式筒灯和壁灯相结合的固定照明方式时,固定灯具应能通过开闭组合产生不同的照明效果,实现多功能的用途,并且此种控制方式可更加节能。

⑤ 窗帷照明、装饰搁板及置物架或柜的适当照明,有助于增加房间的开阔感,但要防止平淡流为泛泛。可采用射灯、轨道灯、筒灯作为装饰照明,用白炽灯、卤钨灯或紧

凑型荧光灯作为光源突出收藏品的造型,增加愉悦感。

总之,光线的变化间接影响人的心境,同时对于所处理的事务有着直接的影响。多组灯具及多种光源的搭配组合要分别适合于家庭活动的各种情况,要选用荧光灯和白炽灯或光色不同的荧光灯,在照明灯具中将这此不同光色的灯组合起来,选择开关自由组合控制,使气氛改变,能让空间看起来丰富而有变化,为人们的心情及情绪转换提供外界帮助。还可在周围采用一些灯具来照明墙壁。扩大房间的空间感,因此起居室的照明设计方式要灵活、效果要多样。

对于起居室内灯具的控制方式,若采用总线式开关,并增加调光功能,不仅能对一般照明的水平照度进行调节,还能按事先编定好的程式,以简单的一键控制方式来获得不同用途下的环境氛围。

起居室内频繁开关的灯具不宜使用荧灯光光源。

## (2) 卧室

经过一天的忙碌,人们最大的放松就在于睡眠,因此卧室是全身心地放松的场所。睡觉前简单的阅读、短暂的冥想,对于整理一天的思路,创造良好睡眠起到重要的作用。因此卧室照明应能创造宁静、柔和的休息场所。

1) 卧室照明设计包括一般照明、局部照明,其中局部照明包括床头阅读照明、室内装饰照明、梳妆台照明等。根据使用者的年龄、房间面积及功能分区不同,灯具设置的数量、样式、照度标准也不尽相同,如主卧、儿童房、老人房、含有书房功能的卧室等。

① 作为一般照明时,视房间建筑条件不同(如房间面积、建筑高度等)选用吊装或吸顶式花灯,对于大面积的房间可以在适当位置增加筒灯等照明灯具以弥补照度的不足。

② 灯具应选用眩光少的深罩型或半透明型。因卧室的一般照度要求不高(75lx),光源数量不宜过多。光源以暖色光源为主,这样可创造温馨的氛围,舒缓紧张的情绪。灯具的控制宜为多地控制,如在床头及门口均可控等。

2) 局部照明要根据功能需要而达到足够的照度。床头阅读照明可采用与装修相结合的方式,在床头的位置上方设置固定筒灯(局部吊顶),或在床头的墙壁上设置壁灯,也可以采取在床头设置台灯或落地灯的方式。第一种方法需结合装修设计及家具选型,第二种方法因为台灯安置高度的原因并不适于人们较长时间的阅读,而第三种方法过于死板,给人以非家居环境的感觉。多种方法各有利弊,可结合需要进行选择。

① 梳妆照明主要服务对象是化妆、穿衣等,因此要求有较高的照度(垂直照度大于500lx),为了避免在梳妆台上方设置灯具产生阴影,宜采用壁装或直接安装于梳妆台之上的磨砂或半透明漫射型灯具或灯箱的方式,灯光宜柔和地从多角度照射人的面部,避免因明暗的差别产生阴影,造成化妆或衣着选择的失误。无论何种方式均应避免光线对于人眼的干扰,灯具应安装于水平视线的60°以上,且光源应有良好的显色性。

② 为了夜间使用方便,可采取设置脚灯或采用具有调光功能台灯的方式,解决夜间活动的照明需求,开关应置于便于操作的位置。

③ 室内还可以设置诸如落地灯、射灯、衣柜灯等灯具,分别满足营造气氛、突出装饰、衣物选择及试穿等应用。

3) 在卧室兼作书房的情况下,应有针对性地进行读写的局部照明,且读写照度应不小于300lx。例如对于书柜的照明、写字台的局部照明,可以分别采用随家具定制和台灯的方式解决。



4) 对于儿童卧室,不同年龄阶段的儿童有着不同的要求,作为一般照明,应保持明亮及温暖的氛围。作为局部照明,儿童年龄较小时应有相对较亮的睡眠灯光,避免儿童独自睡眠及起夜时害怕。儿童年龄较大时,儿童房同时也是他的书房,因此在桌面及床头应增加局部照明,满足儿童读写要求。但儿童房内的装饰灯光不宜过多,以避免产生纷乱的感觉影响儿童的注意力。

### (3) 书房

书房是重视工作环境的空间。主人可以一个人在书房内工作学习、娱乐休闲、调整心情、整理思绪,也可与朋友同事聚会、谈心等,因此这是一个相对封闭、私密的空间,照明设计对书房气氛的营造应该能表现出高雅、安静、祥和、沉稳,还略带一点封闭的特点。

1) 书房的主要功能在于与书有关的视觉活动,它可以分为三类:即精细工作、读书学习、一般工作。各类活动有着不同的照度要求(300~500lx),单纯依靠局部照明,会使室内产生强烈的光线对比,时间长容易使眼睛产生疲劳,而一般照明(100lx)又不可能也不必达到如此高的照度,因此一般照明与局部照明相结合即显得尤为重要。

①书桌宜靠近外窗,尽可能地利用自然光,通过百叶窗的调节既可以满足照度要求,也可舒缓工作压力。其次选用光线柔和的灯具作为一般照明,还可以增加一些暗藏灯槽用以烘托气氛。

②书房内的主要陈设有写字台、书柜、展示柜、沙发、壁画或装饰品、计算机及其他电子产品。对于室内的装饰品及展示柜应采用局部照明的方式予以突出,例如采用导轨灯、筒灯、卤素灯等灯具特意去刻画和渲染环境气氛,在工作之余对饰物的赏鉴有助于缓解疲劳。

③在一般照明的背景条件下,选用高质量的局部照明灯具,如台灯、卤素灯等,满足书房最基本的功能要求。合理的灯光布置会减少学习工作中来自于环境的疲劳感,例如:保证桌面的光线,减少光线对电脑屏幕的干扰。

2) 对于书房内其他功能的要求,可以通过采取多组开关控制灯具的开闭,室内的部分灯具采取调光控制的方式,以适应不同场景、功能的要求。

### (4) 餐厅

目前国内的居住建筑餐厅形式主要有:与起居室合用一个房间,住户自己在空间上通过家居布置及照明设计进行划分,与厨房共用一个房间,即开敞式厨房,独立空间的餐厅等几种情况。

1) 餐厅是家人进餐的主要场所,照明采用局部照明和一般照明相结合的方式。在紧张的社会压力之下,他还同时担负着家庭成员团聚、交流的功能。因此餐厅的照明设计就要体现出不同风格和功能的要求。

①餐厅照明要将人们的注意力集中到餐桌的食物上。在餐厅中,主要活动是围绕餐桌及食物进行的,用餐时灯光无需将整个房间均匀照亮,而是集中在餐桌上,使食物及用餐者面部得到良好的照明,在能够刺激人的食欲的同时,形成一种幽雅、亲切的氛围。如果空间小、人又少,设计照度应低一些。一般采用在餐桌的上方安装悬挂式照明器作为局部照明,灯具最好能调节高度(0.6~0.9m),若能进行调光则更好,可以根据不同的情况调节到合适的照度,而且样式独特的灯具同样可以为点缀餐厅环境提供帮助。在餐厅兼作厨房的条件下,如果房间面积狭窄,过度装饰的照明灯具会影响环境的氛围,因此最好选用功能较多而形式简单的灯具类型。

②要使餐厅维持一定程度的亮度还需要一般照明,要和餐桌上的悬挂式灯具回路分开设置。一般照明显示出清洁的感觉,特别是餐厅和起居室在一起时,一般照明可采用吸顶式荧光灯具或暗藏式间接照明灯具。

③餐厅照明设计要创造出一种氛围,光源和灯具的选择要与室内装修风格相协调。为使食物颜色逼真,促进食欲,所以选用光源的显色性要好,宜采用白炽灯,悬挂式灯具选用易修理及清洁的类型。在创造舒适的餐饮环境及亲切的气氛时,白炽灯在运用上多于荧光灯。一般情况下,低照度时宜用低色温光源。

2) 有的家庭设有吧台,作为浅饮小酌或情趣休闲的小品。吧台处宜独立设置筒灯或吊灯,照度要适中,吧台后面陈列部分要有较高的局部照明,以吸引人们的注意力。酒吧台下可设反光灯槽对周围地面照亮,室内环境相对要暗一些,这样可以利用照明形成趣味性空间,以创造个性环境。

### (5) 厨房

1) 厨房从建筑空间划分形式可分为开敞厨房与独立厨房,从炊具方式可分为燃气灶和电灶,从生活方式可分为中厨和西厨。其中开敞厨房又分为与餐厅合用、与居室合用(此方式多见于小户型)等方式。

良好的照明环境对在厨房中操作的人来说十分重要。照明设计的不合理会使厨房的某个操作面上出现阴影,影响工作效果;合理的灯光及灯具可以避免工作中的疲劳感和眩光。原《民用建筑电气设计规范》仅给出了单一的照度标准20~30~50lx,而现行的《建筑照明设计标准》给出了台面150lx和一般照明100lx两个标准,因此厨房照明设计采用一般照明与局部照明相结合的方式。

2) 厨房内主要设备有灶台、洗涤池、橱柜、置物柜、厨房电器(如冰箱、烤箱、洗碗机等)等,在不同的操作面均有设备,因此仅有水平照度是不够的,还应满足一定的垂直照度,以保证正常使用。

厨房操作的主要流程是:洗菜、切菜、烹调、洗碗、清扫等,对于不同的工作均有不同的工作台面或范围,因此应在一般照明之外增加局部照明来解决各工作的照度需求。例如:洗菜和洗碗大多是在洗涤池内,切菜一般是在台面之上吊柜之下,为避免因阴影对工作的影响,洗涤池或台面上方(吊柜的下方)宜设有局部照明,可结合吊柜与橱柜厂家协调作整体设计。现有排油烟机均设有局部照明,可以满足烹饪时的需求。局部照明在设计时应避免其安装位置过低对人产生眩光。

良好的光线条件会使烹饪的人有一个好的心情,高显色性的光源会使厨师做出色香味俱全的食品。

3) 目前中式厨房烹饪方式还多以煎炒烹炸为主,油污、水汽的污染还难以避免,在选用灯具时应带有保护罩,且易于清洁,灯具玻璃以易清晰、耐腐蚀的金属或非金属材料为宜。现在的居住建筑中厨房多有吊顶,因此灯具宜嵌入或吸顶式安装。在厨房需分辨各种食物的新鲜程度、成色等,而对食物的定位直接决定了餐桌上菜肴的色香味,因此,厨房内一般照明和局部照明的光源在满足节能的条件下应选用高显色性产品。厨房内的光源要尽量选用和餐厅照明相同的类型,或显色性没有大的差别的类型。

### (6) 浴室和卫生间

目前国内绝大部分居住建筑内浴室和卫生间的面积并不大,仅是在小房间内划分出的不同空间,因此二者的照明设计要求就变得相近似了。

1) 卫浴间内视面积、档次、个人要求不同可设置:坐

便器、妇洗器、淋浴房（或淋浴设备）、浴缸、洗面台（或简单柱盆等）、浴室镜、浴室柜、采暖设备等。卫浴间的照明既能显示环境的卫生、洁净，同时也要便于清扫，因此水平照度应为100lx，洗脸、化妆、刮脸等可用镜前灯局部照明，照度可在200~500lx之间。

2) 卫浴间是很私密的空间，在洗浴的同时能缓解繁重的生活及工作压力带来的身心疲劳，放松紧张的情绪，所以要用明亮柔和的光线均匀地照亮整个空间。照明的设计应给人一种安全感，宜选用暖色光源创造温馨的环境气氛。由于室内湿度较大，对于一般照明灯具应采用防潮型吸顶或嵌入式安装，在房间层高较低时不建议采用壁装灯具作为一般照明灯具。无论采用何种灯具安装方式，均应避免将洗浴者的人影投射于外窗之上，或在房间内产生较大范围的阴影。顶棚灯具要避免安装在浴缸之上。

3) 局部照明可根据功能的需要，在面台上方的顶棚或镜面上、左、右三侧设置照明灯具，使化妆者脸部有充足的照度，且光源应有良好的显色性。

#### (7) 门厅

1) 门厅是在进入某栋居住建筑第一眼看到的空间，照明的好坏会对整个建筑的印象产生影响。如果门厅照明营造出某种和谐轻松的气氛，无论是对主人还是访客都会产生心理上的愉悦。因此门厅的装饰及灯光都极为重要。

一般来说，很多居住建筑入户后没有明确的建筑分割作为门厅，这就需要利用装饰和灯光从空间上划分出来。门厅照明从进门至深入室内，与走廊、楼梯等有序地连接起来，在中间没有隔断。因此，以深入室内处的照明灯具为主，进门处和走廊等处为次来处理。这种主次关系对于照明灯具的亮度、大小、设计等在原则上确定次序后，便比较容易布置。门厅宜以间接照明手段营造出柔和的背景光线，使人产生一种亲切的感觉。建筑装饰面的颜色不宜过深，一是不利于光线的折射与反射，二是深色给人以沉重甚至压抑的感觉。当然也可以在门厅采取建筑或装修手段设置隔断墙，通过墙体材料的运用及墙面或墙内的灯具布置，来达到照明效果。

2) 在进门处和深入室内处均安装照明灯具，可以避免灯光在入户者脸上形成的阴影。在门厅入口家具摆放处设小型吊灯、在入口墙面设置壁灯，会增加门厅空间感，使由入口至房间内部装饰呈现变化。门厅照明不应超过顶棚上的主要照明照度，过度的装饰处理会破坏房间整体的效果，造成喧宾夺主。若仅依靠墙面照明，就会出现不够自然的阴影，而且灯具形式及安装高度不当会造成眩光。

进门处灯具的安装宜采用多种形式，或一种方式不同高度的方法，避免因单一采用某种安装方式而给人以凌乱、重复、单调的感觉。

#### (8) 走廊

1) 走廊是多数居住建筑不可避免的空间，它起到了联系各功能房间及区域的纽带作用，因为它的高利用率，所以应该有均匀的照度（50~75lx）。但同时它的照度又不能高于房间内与起居室同级照度的房间，否则人们从走廊进入房间后由明到暗，会有压抑、不舒服的感觉。

走廊内的灯具形式常有筒灯、吸顶灯、吊灯、射灯、壁灯、暗藏灯槽等照明灯具。安装的灯型、位置、数量、照度值由走廊的长度、宽度、面积、功能房间及分区的出入口位置等决定。

2) 多数房间内走廊宽度在0.9~1.2m之间，小于3m的下设型灯具排列会造成墙面上的光影重叠，明暗不均，视

觉感觉混乱。当走道长度大于5m且无出入口时，较窄的通道会过于单调，墙面应增加壁灯或增加装饰物并使用射灯作局部照明以增加变化。采用暗藏灯槽等间接照明手段会使走道空间光线更加柔和并富立体感。

受狭窄走廊的制约，灯具的安装高度及样式应保证不干扰人员的正常通行。当走廊采用悬挂式照明灯具时，照明灯具的下口距地面高度应大于1.9m，否则搬运大件物品可能会出现安全隐患。

#### (9) 楼梯

楼梯是联系上、下楼层的通道，多存在于复式居住建筑，从类型上可分为单跑、双跑、螺旋梯等。为保证上、下楼梯的安全，需要充分考虑楼梯的照明，使安装在上、下楼层的照明灯具相互作用。

1) 楼梯照明通常采用吸顶灯、壁灯、吊灯、筒灯等灯具形式，根据灯型的不同装设于不同的部位。吊灯一般装设于有梯井的楼梯，成为建筑的重要装饰部分。其他灯型多装设于上、下层楼梯口或休息平台。灯具具体安装位置应有以下考虑：楼梯各段满足照度要求，并在梯跑适当形成阴影，同时在照射范围内不应出现极端明暗的差别；灯具安装位置应易于清扫及维修，光源易于更换，例如灯具不要装在楼梯的踏步部分；避免灯光对人员上、下楼梯产生视觉干扰，避免眩光，选用在视线方向亮度小的照明灯具。

2) 楼梯及休息平台应使用双控开关，便于从上下控制，同时应采用瞬时点亮的光源，因开关次数较为频繁，宜采用白炽灯。

### 5.3 室外照明

此部分照明内容多存在于低密度居住建筑内，如单体或连排别墅等。居住建筑室外照明一是起美化环境、烘托建筑的作用，另外就是为住户提供夜间照明，同时有一定的防盗作用。

居住建筑的室外部分通常有大门、门廊或通道、庭院、露台或阳台等。从灯具类型可分为门头灯、门廊灯、庭园灯、阳台或露台灯等。

1) 门头灯要能以适当的亮度照亮门口的周围，要能使访客容易看到建筑主入口的相关标志和设备。灯具的形式有安装在门柱上的门柱灯，安装在外墙墙壁上的壁灯等。

2) 门廊或通道是进入建筑物的必经之路，是对进入大门人员的引导，因此灯具应安装于明显部位，例如柱子、树木、建筑外墙面，或采用草坪灯等方式。室外灯具对显色性要求不高，但应避免眩光。

3) 从露台、阳台对于庭园进行投光照明，有助于提高庭院的美观，同时扩大了生活空间，而且从防盗的角度来说也应保持一定的照度。照明灯具宜选择安装在从室内看去不显眼的位置，避免光线对于屋内人员休息、活动的干扰。

4) 庭院是生活的重要场地，通过对植物的打理和欣赏可以放松身心、缓解疲劳，有效地利用庭院的照明灯具将使之成为景物点缀。根据庭院内不同的植物种类、高度、环境，不同建筑小品的特点，从自身所希望的色彩、形式和构成出发，采用不均匀的泛光照明，在光线、形状、阴影和色彩方面提供愉快的气氛，分别布置不同类型和不同安装方式的照明灯具，使之与庭院有机地结合在一起。

① 庭院照明的一般照度为10~20lx，除非被烘托的景观是从被照明的场所或室内观看，否则最大亮度不宜超过35cd/m<sup>2</sup>。应该从质感、形式、线条、反射物背景来分析，运用泛光照明，光线从两侧或多侧照明能获得更好的效果，



剪影效果能更好地强调半透明的植物、花园的角度和形状。室外照明可以比室内照明运用更多的色光，但运用要得当。黄色或低瓦数的光源会使叶子和草的绿色褪色；绿色通常靠蓝绿或蓝白色光源加强；冷色光能加强深度；青蓝色光能提供月光色。

② 庭院灯具应选用防水且耐腐蚀的类型。灯具应妥善隐藏，以免影响环境的协调，且在灯具设置中应避免造成眩光。考虑到庭院照明多应用于夜间，合理的亮度比会给人以更舒适的感觉。

## 6 小结

居住建筑照明设计对于每个特定空间是相对独立的，而对于整个建筑来说又是统一的。一个好的照明设计要密切

配合居住建筑的建筑风格，且应从实际情况出发，不能千篇一律，要充分考虑住户的需求。首先要有实用价值，即满足使用功能，具有可操作性；在满足人们生活需要的同时，利用光源的颜色和显色性、灯具的造型及排列的形状，取得装饰效果，利用灯光的透射、反射和折射等特性，产生光影的配合，创造出与环境及使用功能相应的氛围，达到使用和审美功能的统一。

然而居住建筑照明是以个人的品位和爱好为主的个性化体现，没有统一的模式。正因为照明具有如此个性魅力，它可以随时随地地在不同的层面上影响着我们的生活。科学地、艺术地处理居住建筑照明会给我们营造一个温馨美好的生活空间。

## 第8章 博物馆和美术馆照明

### 1 博物馆、美术馆照明的基本问题

博物馆已成为一个国家或地区综合实力的象征,参观美术馆也逐渐融入现代人的生活方式。博物馆、美术馆的三个基本属性是实物收藏、科学研究、社会教育。西方有关博物馆职能的论述很多:有的认为是调查研究(Investigation)、教育(Instruction)、激励(Inspirator);有的认为是所谓“三E”原则,即“教育国民(Educate)、供给娱乐(Entertain)和充实人生(Enrich)”。而一般认为博物馆的职能为保存(Conservation)、研究(Research)及陶冶文明(Education or Culture)。

1) 博物馆建筑的角色呈现出多元化的发展趋势:

① 博物馆是城市与国家理念的宣言。

② 博物馆是休闲、娱乐的场所。

③ 博物馆是地区文化的中心。

④ 博物馆是公共交流的“窗口”。这一新派生出的角色定位对于博物馆视觉环境的要求日趋严格。

2) 光环境是衡量博物馆、美术馆水平的一项重要指标。为了妥善地保管展品,必须尽可能地使之免受光学辐射的损害;为了给观众创造良好的参观环境,又需要提高照明水平。因此需要解决、处理好这对矛盾。

### 2 基于鉴赏的照明设计要点

#### 2.1 展示(品)照明

##### 2.1.1 展示(品)照明指南

展示的整体效果比单件展品的视觉效果更为重要,展示照明所要达到的是整体照明和局部重点照明之间的平衡,展品同其背景在色彩和亮度方面的平衡。展示照明要求出色的显色性能,避免产生不舒适眩光和失能眩光,展品的形状、形式和纹理质感也需要仔细考虑。展示照明的设计随着展品特点的不同而变化,可以概括为九个方面——均匀度、对比度、视觉适应、表观颜色、显色性能、展品背景、眩光、立体感、重点照明。部分国际组织和国家推荐的质量标准见表7.8-1。

(1) 均匀度

表 7.8-1

部分国际组织和国家推荐的质量标准

组织	CIE <sup>①</sup>	ICOM <sup>②</sup>	英国	美国	日本	澳大利亚	荷兰
均匀度	均匀	$\geq 0.8$	$\geq 0.8$	$\geq 0.8$	均匀	$\approx 0.8$	均匀
眩光限制等级	I 级	I 级	GI 为 17~18.5	I 级	I 级	—	I 级
光线的照射角(°)	—	60	60	60	55	60	60
亮度比	3:1	3:1	3:1	3:1	4:1	3:1	3:1
立体感	—	—	矢/标量比 1:2~1:3	—	照度比 1/3~1/5	—	—
色温(K)	3300~5000	4000~6500	3300~5300	3300~5000	3300~5000	3300~5000	3300~5000
显色性 $R_a$	$\geq 85$	$\geq 90$	$\geq 90$	$\geq 85$	$\geq 92$	$\geq 90$	$\geq 85$

① CIE 国际照明委员会 (Commission Internationale de L'éclairage 的缩写)。

② ICOM 国际博物馆协会 (International Council of Museum 的缩写)。

一般画面最低照度和最高照度之比应不小于 0.7,特大画面应不小于 0.3。

(2) 对比度

很多情况下,人们看见一个物体是因为对比(使它从背景及周围环境中凸显出来)。对比度可以定义为物体亮度与背景或环境亮度的比值。亮度同物体表面照度和反射比成正比。照明设计中需要对物体的反射性能有所了解,对背景使用材料和整体照明方式有所了解。

(3) 视觉适应

眼睛对于视野范围内的亮度能自动地反馈,这取决于眼睛的亮度适应水平,适应水平同视野范围内的平均亮度相关。应限制博物馆各区域的亮度范围,使眼睛在任意时刻都可以适应。画面亮度应高于周围背景亮度,其亮度比不宜超过 3:1。亮度过高的区域将成为眩光源,造成视觉困难,影响对展品细节的观看。适应时间取决于改变的数量级和注意力转变的方向,对于低亮度的适应比对于高亮度的适应要花费更长的时间。对于陈列特殊感光展品的区域,当整体照度较低的时候,要求对视觉适应有所考虑。接近这些区域的时候,需要提供视觉过渡,通常在博物馆建筑设计阶段即应对空间亮度进行规划。

(4) 表观颜色(色表)

对比不仅可以通过亮度的差异,也可以通过颜色的差异来实现。如果物体和背景由不同相关色温(CCT)的光源照亮,颜色的对比就可以显现出来。需要特别注意以下问题:要避免造成展品的颜色失真;避免色差过大导致视觉注意力的分散;注意对暖色光源的使用,其色温上的细小差别也能被人眼察觉。室内表面最好为中性色或极淡的彩色,否则界面材质的反射光可能造成展品的颜色失真。

(5) 显色性能

在陈列绘画、彩色织物、多色展品等对辨色要求高的场所,应采用一般显色指数( $R_a$ )不低于 90 的光源作照明光源。对辨色要求一般的场所,可采用一般显色指数不低于 80 的光源作照明光源。

### (6) 展品背景

展品背景不仅影响展示效果,也影响眼睛的接收状态。视觉接收取决于亮度和颜色。背景和物体之间的亮度对比不能过大,如果背景明显地比展品亮或暗,将降低看到的细部质量:暗物体在亮背景前面展示,只有物体的轮廓能被看到;亮物体在亮背景前面展示,可以看清物体的造型细节。色彩强烈的背景能够令眼睛对这种颜色的感觉达到饱和,因而强调出展品的补色,如强烈的绿色背景将使白色的物体看起来呈现粉红色。

### (7) 眩光

眩光由同整个视野范围内的总体亮度相比过亮的光源、窗或其他光源,直接或间接也被看到而形成。对展品、光源、观察者的相对位置的选择能够帮助设计师克服眩光的问题。例如,对于来自电光源的眩光通过设置遮光格栅(应该是灯具的一部分,或是室内设计的元素,能够从通常的人视点有效地遮挡光源),能够使光源从通常的视角看起来变得更暗。观赏陈列在不是从内部照明的展柜中的物体时,视觉经常会被外部光源、照亮的展品或其他物品的反射光所干扰,称为反射眩光,控制方法如下。

1) 一次反射眩光。光源通过画面,特别是带镜框的画面反射所产生。由图 7.8-1 看出,灯具布置在无反射干扰的布光区内即可消除一次反射眩光。若画面中心离地 1.6m (下限),下边离地 0.9m (下限),画面倾斜度 ( $t/L$ ):小画面约为 0.15~0.03,大画面在 0.03 以下。观众在离画面距离为画面长边的 1.5 倍 (对角线的 1.2 倍) 的位置,视点离地为 1.5m。为防止反射眩光,对扩散光的投射角可考虑  $10^\circ$  的余量,同时为了防止画面出现凹凸现象或画框阴影,灯具不能设计在和画面成  $20^\circ$  角的范围内,应在如图 7.8-1 所示的布光区内。

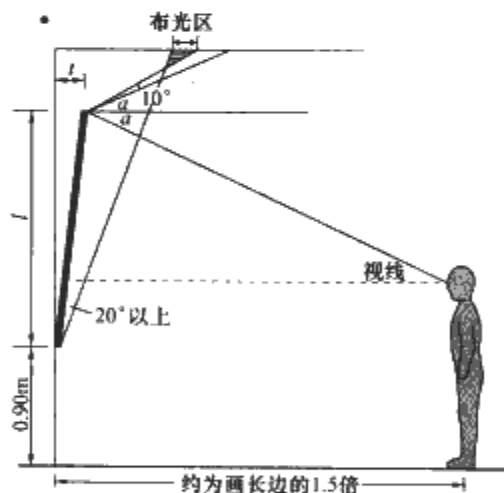


图 7.8-1 防止一次反射眩光的布光区

2) 二次反射眩光。由于观众自身或周围物品的亮度高于画面亮度,以致在玻璃面上反射映像而出现的眩光。二次反射眩光消失或减弱方法是控制观众和周围物品亮度,使之低于画面亮度。

眩光不能同高光混淆,后者是由来自珠宝或金属物品的光泽反射形成的高亮度的点或图案。高光对于视觉的影响非常小,而且通常对展示有所帮助。

### (8) 立体感

对于立体的展品,应表现其立体感。立体感应通过定向照明和漫射照明的结合来实现。

### (9) 重点照明

1) 对于物品精彩之处的展现,通常需要通过重点照明来实现。

2) 产生光束的点光源,通常用于强调视觉的重点、展

品的立体感和精华区域。

3) 光束的尺寸对于决定一道光束是否足以照亮物体非常重要,否则需要考虑投射几条交叉的光束。大多数的光束是圆锥形的,需要描述光线的角度,根据光距物体的距离,确定是否足以覆盖表面。

落在主要光束外面的光被定义为溢出光。溢出光的数量依光束的类型而不同,也可以由光束边缘区域照度的变化率来描述。照度改变得越快,分界线就越强烈。溢出光的数量将影响对比度。含有大量溢出光的光束将在照亮物体的同时照亮背景,降低对比度,也因此削弱对物体本身的强调。经过聚焦的光束,形成更为锐利的分界线,强调出对于物体的限定,而很少影响到背景。重点照明也可以被整体照明所补充 (直接光或反射光)。

### 2.1.2 特殊展示 (品) 照明

博物馆、美术馆的展品可分为立体、平面等形式,按展出时间可分为“永久性”和“临时性”两种,以下展品需特殊照明。

#### (1) 大型三维展品

大型三维展品即立体展品,如雕塑、机器设备、服装及火炮武器等,常用下列照明方法:

1) 点光源照明从一侧来,而泛光照明要从另一侧,造成不同程度的阴影,突出立体感。

2) 应用不同颜色的光从不同方向投射,造成展品的突出印象。

3) 只有一个观看方向的展品应从观看方向投射。

评价立体感的技术指标是阴影系数  $S_f$ 。 $S_f$  用柱面照度  $E_z$  和水平照度  $E_h$  之比来表达,其计算公式为

$$S_f = E_z / E_h \quad (7.8-1)$$

实验表明: $S_f < 0.3$  时,阴影太深,立体感过于强烈; $S_f$  在  $0.3 \sim 0.7$  之间时,阴影适宜; $S_f > 0.7$  时,阴影太浅,立体感较差。

#### (2) 垂直面上的平面展品

1) 垂直面上的平面展品包括绘画、印刷品、摄影作品和重要文献等,通常采用下列照明设计方法:

① 垂直墙面上的展品照明一般采用荧光灯,它可以提供柔和连续的光线,使得垂直面有良好的亮度对比。垂直面上平面展品与光源位置关系的计算如图 7.8-2 所示, $x = y \tan 30^\circ$  ( $x$  为灯具与展墙的距离, $y$  为空间净高减去平均眼高)。

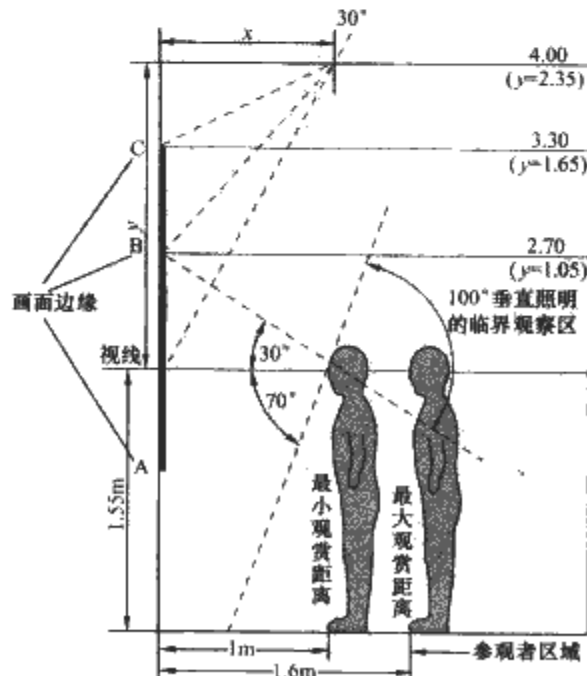


图 7.8-2 垂直面上平面展品之光源位置计算

2) 发光板照明方法, 即将展品设置成照片薄膜, 外盖乳白或透明有机玻璃, 在其后设置荧光灯, 效果逼真, 简单实用。发光板周围的亮度应小于发光板亮度的 1/10, 但也不宜小于 1/50。

(3) 展柜

展柜照明多于柜内设置, 也可由外部射灯提供照明, 通常使用荧光灯, 因其发光量大, 发热量小, 但要考虑其镇流

器的散热和噪声对展览的影响; 也可采用白炽光源提供柜内局部照明, 但其发热量大, 需注意解决散热问题。展柜照明要注意下列问题。

- 1) 注意隐藏柜中光源, 避免参观者看见。
- 2) 保证大型展柜的柜内照度均匀, 均匀度不宜小于 0.3。
- 3) 要避免展品面和展柜玻璃面的反射, 必须注意光源、展品和玻璃面之间的相互关系, 如图 7.8-3 所示。

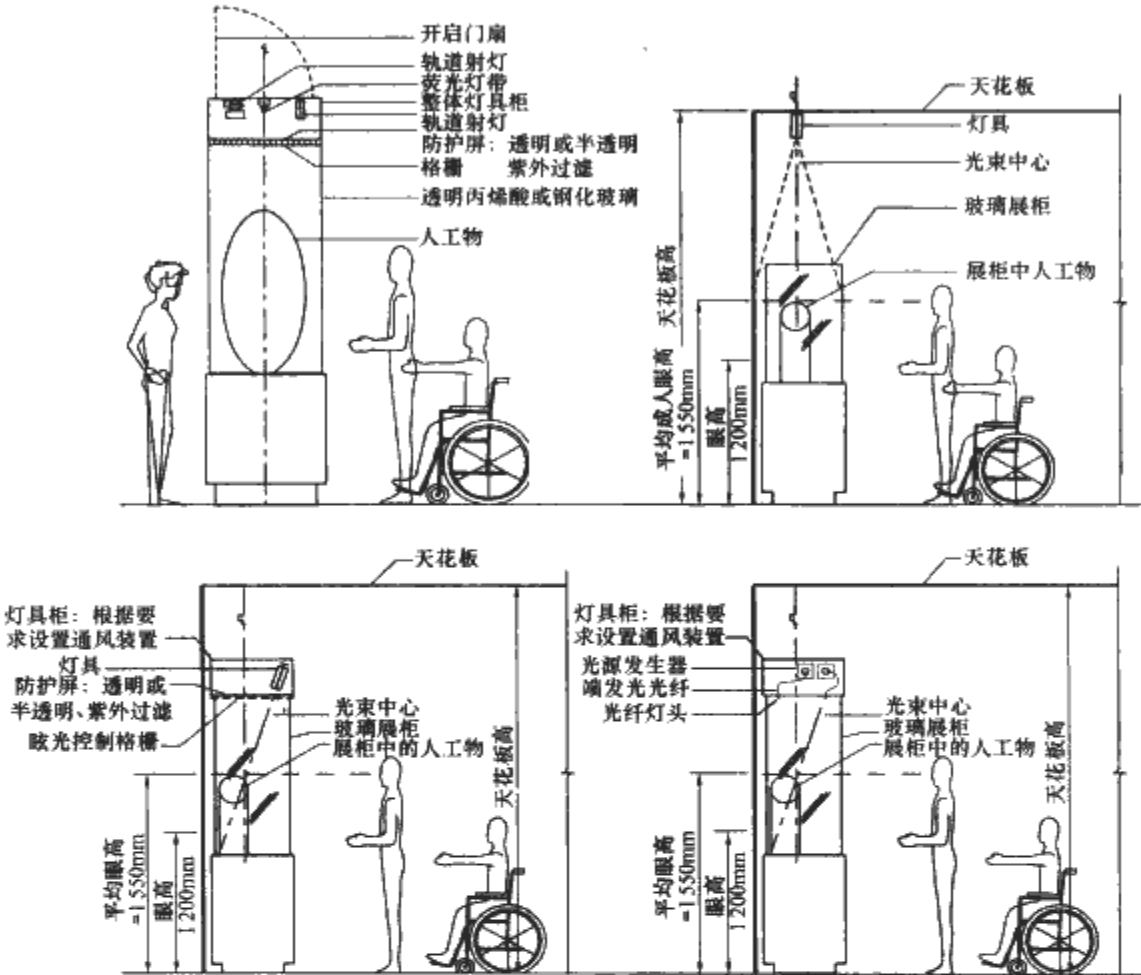


图 7.8-3 展柜照明指南

- 4) 注意设置防紫外线措施, 如展柜采用光纤照明。
- 5) 为解决展柜升温, 应使用单位照度发热量小的光源, 并设自动或手动开关, 有观众时灯亮, 无观众时灯灭。

2.2 展示空间照明

博物馆室内空间的光环境需要结合建筑设计、室内设计及展示设计统一考虑。不仅要考虑展示空间是否被自然光照亮及自然光所扮演的角色, 还要考虑自然光和人工光如何协作及替代。即使对于天然光处于支配地位的博物馆, 也需要设置电气照明系统用于在天然光不足时或夜间进行补充。对于照明系统, 尤其应重视博物馆设计和展品展示的特殊之处。表 7.8-2 列举了常见的 6 种展示空间照明方式。

表 7.8-2 常见的展示空间照明方式

1	发光顶棚照明	图 示
	通常由天然采光和人工照明结合使用 (部分非顶层展厅由人工照明创造天然采光的效果), 通过与感光探头连动的控制系统实现二者的有机整合。其特点是光线柔和, 适用于净空较高的博物馆。发光顶棚内部的人工照明通常由可调光的荧光灯管提供 (WallrafRichartz-Museum, 图片源自《lightlive》)	

续表

2	格栅顶棚照明	图 示
	与发光顶棚方案相比, 透明板换成了金属或塑料格栅。其特点是亮度加强, 灯具效率提高, 但墙面和展品上照度不高, 必须与展品的局部照明结合使用。在造价允许的情况下, 格栅角度可调, 通过与天空光的组合, 以适应不同的展陈模式 (Museum Fondation Beyeler)	
3	嵌入式洗墙照明	图 示
	可以灵活布置成光带, 更可以将荧光灯具 (部分卤钨灯也可) 的反射罩根据项目特点进行定制加工, 将光投射到墙面或展品上, 增加其照度和均匀度, 效果较好。一些成熟软件已能对洗墙式照明进行相对准确的模拟 (中国国家美术馆)	

续表

4	嵌入式重点照明	图 示
	该照明方式可以给人舒畅感。嵌入式重点照明方式与嵌入式荧光灯结合使用,使照明形式多样,还可以通过特殊选择的反光罩达到局部加强照明的效果。此类方案对于灯具的要求相对严格,应具备尽可能大的灵活性,如光源在灯具内可旋转,光源能够精确锁定,能够根据项目需要更换不同功率的光源,反光罩可更换,可增设光学附件等(Pinacoteca Vaticana, 图片源自《lichtbericht》)	
5	导轨投光照明	图 示
	在天花顶部吸顶,或在上部空间吊装、架设导轨,灯具安装较方便,安装位置可任意调整。此方法通常用作局部照明,起到突出重点的作用,是现代美术馆、博物馆常用的照明方法之一,其供电容量至少为 50W/m <sup>2</sup> (Belvedere Palace, 图片源自《Licht Focus》)	
6	反射式照明	图 示
	通过特殊灯具或建筑构件将光源隐藏,使光线投射到反射面再照到画廊空间,光线柔和,形成舒适的视觉环境。需要注意的是,反射面为漫反射材质,反射面的面积不可过小,否则可能成为潜在的眩光源(图片源自 Janet Turner, Lighting solutions for exhibitions, museums and historic spaces.)	

2.2.1 天然光

自然光在构图和强度上可以不断变化,也是显色性能最好的光源。日光是自然光的元素之一,对于不感光的雕塑类展品,能够表现出其造型和质感;窗户能够为参观者提供舒适的视觉放松,帮助参观者减轻视觉疲劳,使参观过程得以愉快持久地进行。

(1) 日光控制

引入自然光的美术馆、博物馆应对日光进行控制,即防止光线对展品的损害,防止直射日光造成的展厅过热,防止眩光造成的视觉损伤和干扰。日光控制可以通过对采光装置的位置和细部的设计来实现。

(2) 天空光控制

采光装置的形式和位置同室内期望得到的光线构图和数量密切相关,采取何种设计方案也取决于天空光是否被用于照亮展品:如果天空光用于照亮展品,要尽可能多地把光线导向展示区域;如果天空光主要用于照亮展示空间,展品将由电光源照亮。

控制天空光强度需要参考天空光在一天中和一年中季节性的强度变化。天然采光的水平通常由天然采光系数来描述。

控光装置的设计通常采用可调百叶,调节方式包括连续调节和分级调节两种,调节装置的运作通常由光传感器激发。

2.2.2 人工光

展示空间的人工照明必须设计用于展示照明的附加照明,既要创造迷人的空间外观,又要不分散参观者对于展品本身的注意力。展品表面照度与美术馆空间环境的照度(通常是平均垂直照度)之比通常为 3:1。

间接照明用于照亮墙面、天花或建筑的其他表面。这种照明方式用于强调建筑物自身的特征,为展品提供背景照明。主要的反射表面需要有较高的反射系数,通常情况下不低于 70%。强烈的颜色应该避免使用,过强的表面颜色会造成展品的颜色失真。

2.3 光源与灯具选择

光源与灯具选择参见表 7.8-3。

表 7.8-3 典型的光源和灯具选择

照明方式	灯 具	光 源	特性描述
一般照明	嵌入式(圆形或方形)、下射灯具、洗墙灯具	一般照明普通白炽灯紧凑型荧光灯 卤钨灯 高强度气体放电灯 PAR 灯 功率范围 20~500W	易于更换 可调光 低亮度 大遮光角 控光良好 节能 可附设过滤装置
	表面安装(半圆形或方形)普通白炽灯或紧凑型荧光灯		
	圆柱形或方形防眩光装置		
间接照明(漫射照明质量)	产生宽光束的光源将光线投向天花板,反射至垂直或水平表面,效果取决于天花板表面形状、色彩、光泽度	T8、T5 荧光灯管或紧凑型荧光灯 高强度气体放电灯 PAR 灯	吊杆或悬空架设(离天花大约 300~500mm) 良好的光学系统、最大光效 水平测量方法提供目视调整
重点照明	轨道装置 嵌入式下射灯具	20~500W PAR 灯 白炽灯、卤钨灯 T3 和 T4 直管荧光灯	轨道装置:拆装简便 可接附件 固定装置可多样化 灵活可变 简单电气分布
展柜照明 壁柜照明 隔板照明	微型(刚性或柔性)轨道,变压器远离安装	白炽灯: E12 灯座、4~25W 管型、7~9W 紧凑型荧光灯	灵活可调的灯具间隔
	带状灯类型 大约 50mm×50mm		小型的大约 19mm×19mm 易于成型,可制成所需形状 可根据使用空间尺寸分割
	光纤照明	卤钨灯、金卤灯	远离热源 所有的电气设备在展柜外

续表

照明方式	灯 具	光 源	特性描述
泛光照明	嵌入式：下射白炽灯具	普通白炽灯 150~250W 卤钨灯	椭圆反射器 易于更换 过滤紫外辐射 光源破损防护
	荧光灯反光槽：抛物线式反射器、间接式	T5、T8	
	表面：轨道安装 间接式白炽灯具	150~300W 卤钨灯 高强度气体放电灯	抗高温棱镜 过滤紫外辐射 非涅尔光学系统 可调角度 提供色彩媒介和色彩修正
戏剧照明 (特效)	调焦式投光灯 追光灯 发光二极管 全数字式(液晶) 激光	卤钨灯 低电压 高强度气体放电灯 特种光源	精确调焦 旋转色轮 投射影像和图式 维护人员要求 操作人员要求
安全照明(根据 安全等级要求。 过道内的照度至少 100lx, 提供 疏散指示)	疏散指示(黑色背景上的绿色字母最佳)	发光二极管	长寿命 连续工作 可靠性 每周例行检查 正确的电压
	台阶照明	紧凑型荧光灯	
	下射照明	低压白炽灯 小型光源	

2.4 安保、维护照明

博物馆、美术馆因其房屋和展品的价值，建筑设计的一个重要方面就是安保系统，安保照明是其组成部分。博物馆的展品通常对光辐射比较敏感，因此开放时间以外的照明应该尽可能降低。用于安保和维护的照明应该避免照射到展品，确保安保和维护照明不干扰展品保护和其他的视觉过程。

3 基于保护的照明设计要点

对于博物馆的藏品保护，最严重的危害来自于盗窃、地震、火灾、洪水等人祸天灾，而博物馆管理者、设计师、参观者更为关心的是由生物攻击、相对湿度、空气污染、光和热带来的不良影响。尽管光不能造成最严重的破坏，但是已经证明光学辐射与藏品的蜕变有着明晰的关系。

由光辐射引起的展品损害可以划分为两个主要类型——热效应和化学效应。破坏效应的类型与辐射的波长是密切相关的。波长的单位为纳米 (nm)，1nm=10<sup>-9</sup>m。通常绘画作品表面的面层漆 (Varnish Film) 厚度为 10 000nm。通常认为紫外辐射 (UV) 的波长下限为 1nm (低于此值称为 X 射线)，但是任何辐射源发出的低于 300nm 的紫外辐射均不能穿透玻璃。红外辐射 (IR) 的波长值上限为 10<sup>6</sup>nm (超过此值称为无线电波)，日光的红外辐射值可以达到 22 000nm。天然光的辐射组成如图 7.8-4 所示。

3.1 光辐射的热效应

辐射热效应是指由于获得入射的辐射能量而造成物体表面温度升高，超过环境温度。

1) 辐射热效应使被照射物品的表面温度升高，为化学作用提供动力。同时，随着热环境的改变，材料发生空间上的变形。这类变形发生在材料具有不同热延展系数的位置，特别是具有高延展系数的位置；物体的部分被遮挡也能造成这类变形。日复一日的照明的开与关造成了表面延展和收缩的循环，以及湿气的不断移动。破坏特别容易发生于吸湿材料 (包括所有有机材料，如木材和皮毛) 或表面由多层不同材料构成的物品 (例如由多层颜料绘制的作品)。

2) 控制辐射热效应最简单的办法之一是选择在红外波段输出低的光源，另一减轻热效应的途径是使用红外滤镜。

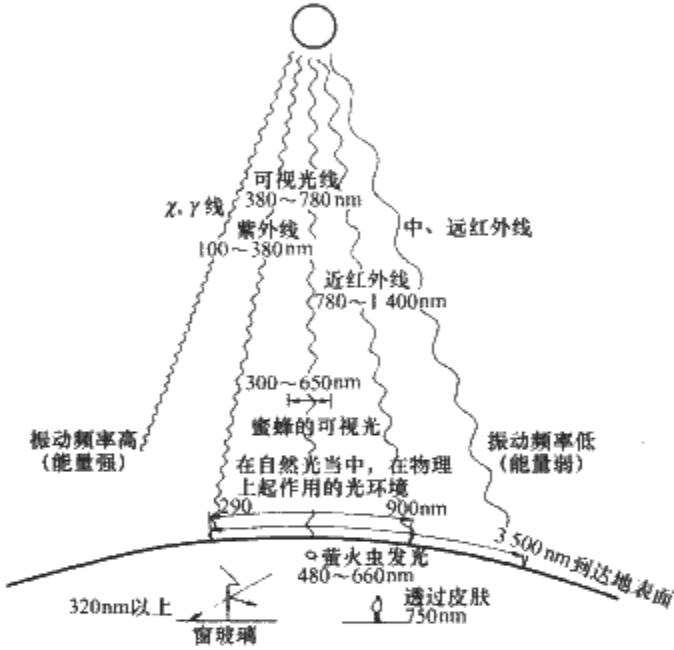


图 7.8-4 天然光的辐射组成  
(摘自《照明设计入门》)

传统的热吸收玻璃滤镜被二色性玻璃滤镜 (同二色性光源相反——透过可见光和紫外辐射，反射红外辐射) 所替代。同二色性光源比起来，二色性滤镜由于放置在光源前部而承受相对较低的热压，受使用时间的影

3.2 光辐射的化学效应

光化学作用是使物质分子发生化学变化的过程，变化的激活能量来自于对光子 (光量子电磁能的量子，一般认为是零质量、无电荷和不定长寿命的离散性粒子) 的吸收。四个因素决定了光化学作用的级别：

辐射照度 (Irradiance)，辐射时间 (Duration of Exposure)，入射辐射的光谱能量分布 (Spectral Power Distribution of Incident Radiation)，接收材料的响应光谱 (Action Spectrum of Receiving Material)。

3.2.1 光源的紫外线含量

光源紫外辐射的含量有两种表示方式：由每流明的 UV 微瓦数 (μW/lm) 表示的相对于灯具光通的 UV 辐射能量；用 UV 百分比表示的 300~400nm 辐射能量在 300~700nm 总辐射能量中所占的比例。表 7.8-4 列出了公布光源的紫外



线含量。<sup>①</sup>

表 7.8-4 公布的光源紫外线含量数据

光 源	UV ( $\mu\text{W}/\text{lm}$ )	UV (%)
白炽灯和卤钨灯		
(1)CIE 标准 A 光源(2850K)	75	1.7
(2)500W 白炽灯(2950K)	78	1.8
(3)100W 卤钨灯+玻璃(3360K)	130	3.4
荧光灯		
(4)3500K	53	1.7
(5)4500K	72	1.7
(6)冷白(高光输出比)	125	4.0
金卤灯		
(7)美标金卤灯 400W	330	9.0
(8)美标金卤灯 250W	630	16.0
(9)航标金卤灯 175W	800	20.0
天空光		
(10)天空光+玻璃	275	6.7
(11)天空光(5500K)	350	8.3
(12)全阴天+玻璃	410	9.5
(13)全阴天(6500K)	540	12.0

3.2.2 标准与测量

IESNA96 规定：对于博物馆，建议光源的最大紫外线含量为  $75\mu\text{W}/\text{lm}$ ，该值参考了可以接受的钨丝灯的紫外辐射值。

CIE2003 的技术报告建议：对于博物馆，光源的最大紫外线含量为  $10\mu\text{W}/\text{lm}$ 。

CIE2003 建议消除 UV，因此 UV 测量可靠性的要求胜于精确性的要求。低于  $10\mu\text{W}/\text{lm}$  的值很难探测到，因此需要更为实用性的控制限制。穿过了玻璃的辐射，可以认为 315nm 以下的辐射(UV-C 和 UV-B)已被过滤，可以完全依靠对于 UV-A 波段的测试，该波段的范围是 315~400nm。

紫外线测试仪已发展出了专门用于博物馆的产品，提供微瓦每流明的读数。

3.2.3 人工光的紫外控制

UV 过滤装置适用于所有在博物馆中使用的光源：由纯净丙烯酸薄片组成的不同级别的有机滤镜；在荧光灯外圈设置的塑料管；设置于层积玻璃中的塑料隔片；硬质玻璃上的二色性矿物质滤镜，能够承受高温，更适用于射灯使用。

对于卤钨灯来说，抗热玻璃通过其石英镀膜，只能够过滤波长小于 320nm 的紫外辐射中的小部分。如果决定使用没有 UV 过滤装置的卤钨灯，推荐使用一层覆盖玻璃，它的两个优点是：

1)阻挡了短波 UV 辐射(尽管由卤钨灯光源产生的 UV

辐射非常少，但是它能自由通过石英灯体，并且具有很高的潜在破坏力)。

2)随着内部压力的升高，产生的大量热量是另一个潜在的危险，使用覆盖玻璃对于工作人员和参观者来说是一种安全保证。

3.3 基于保护的照明策略

造成展品破坏的光学原因是化学效应和热效应。如果红外辐射对应光辐射的热效应，紫外辐射对应光辐射的化学效应，展品保护问题将变得十分简单，只要消除 UV 和 IR 即可。但是，可见光作为能量形式，同样能够激发热效应和化学效应。

3.3.1 基于展品保护的藏品分类

博物馆的收藏可以分为两大主要保护类别：矿物质或无机物材料(石头、金属和玻璃等)，有机物材料——包括植物类有机物(纸张、纸草、木材、自然纺织品、多种颜料和染料)和动物类有机物(骨、象牙、皮毛，也包括一些颜料和染料)。总体说来，无机物材料对光轻度敏感或不敏感，有机物材料对光中度敏感或高度敏感。表 7.8-5 描述了对于光辐射敏感度的分类。人造材料总体来讲比自然材料更加难以划分。

表 7.8-5 依照对于可见光敏感度的材料分类

种 类	描 述
不感光	物体完全由一种永久性的对光不敏感的材料组成。例如多数金属、石头、多数玻璃、纯正陶瓷、珐琅和多数矿石
低感光度	物体由持久性的对光轻微敏感的材料组成。例如油画、蛋彩画、壁画、未染色的皮革和木材、角、骨、象牙、漆器和部分塑料
中感光度	物体由对光中度敏感的易变材料组成。例如服装、水彩画、蜡笔画、织锦、照片和素描、手稿、缩略图或模型、胶画颜料画、壁纸、树脂水彩画、染色的皮革和大多数自然史物品(包括植物标本、皮毛和羽毛)
高感光度	物品由高感光度材料组成。例如丝绸、具有很高易变性的着色剂、报纸

3.3.2 控制可见光

(1)限制照度水平

表 7.8-6 为部分国家和国际组织推荐的照度标准；表 7.8-7 推荐的照度限制广泛地吸取了实践中的经验，结合了曝光量限制，有助于实践中复杂情况下的操作；表 7.8-8 为我国现行的展品照度推荐值《博物馆建筑设计规范》(JGJ 66—1991)。

表 7.8-6 部分国家和国际组织推荐的照度标准

展品类型	CIE	ICOM	英国 IES	美国 IES	日本 JIS
不敏感	没有限制，实践中是根据展览要求和辐射热的大小确定	不限制，但一般不超过 300	不限制，但实际上要考虑陈列要求与辐射热大小	200~6000，具体照度值视材料和颜色而定	300~1500(石和金属雕刻、造型与模型为 750~1500)
较敏感	150	150~180	150	200(临时展出可用 600)	150~300
特别敏感	50	50(如有可能不要降低)	50	50	75~150

① IESNA RP-30-96: Museum and Art Gallery Lighting: A Recommended Practice, 1996.

续表

展品类型	CIE	ICOM	英国 IES	美国 IES	日本 JIS
一般照明	20~50	漫射, 中等照度	—	20~50	为 75~150 的 1/3~1/5

表 7.8-7 依材料感光度分类的照度和年曝光量限制值(CIE)

材料分类	照度限制(lx)	曝光量限制(lx·h/y)
不感光	没有限制	没有限制
低感光度	200	600 000
中感光度	50	150 000
高感光度	50	15 000

表 7.8-8 展品照度推荐值  
《博物馆建筑设计规范》(JGJ 66—1991)

展 品 类 别	照度推荐值(lx)
对光不敏感: 金属、石材、玻璃、陶瓷、珠宝、搪瓷、珐琅等	≤300(色温≤6500K)
对光较敏感: 竹器、木器、藤器、漆器、骨器、油画、壁画、角质品、天然皮革、动物标本等	≤180(色温≤4000K)
对光特别敏感: 纸质书画、纺织品、印刷品、树胶彩画、染色皮革、植物标本等	≤50(色温≤2900K)

对于最佳艺术鉴赏原则提出的照度要求和最佳展品保护原则提出的照度要求,不能简单地应用一条科学法则来平衡。照度水平低于标准值并不意味着对感光材料破坏的停止;照度水平上限的选择取决于能够容忍的最大损坏程度。对感光材料所受照度水平的限制,有助于我们选择最具可行性的光环境以及相应的展示技术要点。

#### (2) 限制曝光时间

减少展品的曝光时间主要是出于保护的目。表 7.8-7 推荐的照度水平,是假定在博物馆开放时间之外,光被隔绝或控制在非常低的水平。如果假定成立,可以计算出在最大照度水平下的年曝光量。例如,如果保持在 200lx 的水平,博物馆每周照明 60h,可以得到累积的年曝光量,每件物品约 600 000lx·h。

在天空光被排除的展示中,如果假定电光源的水平保持恒定,装置一次性安装,累积年曝光量可以容易地计算出来。在实践中,需要确定累积辐射值没有超过计算辐射值。保证在开放时段外灯总是关闭的,这一点是非常重要的。即使展示照明关闭,夏季傍晚和早晨进入画廊的天空光也能够明显地增加辐射。需要对非展示时段的照明投以同展示时段照明同等的关注,其超长的时间对于展品保护有着切实的影响。天空光必须同人工光一样关闭,安保照明照亮交通回路,同时保证展品亮度使保安刚好能够看到它们是否完好。

#### (3) 限制年曝光量

推荐的年曝光量值列于表 7.8-7 中。表 7.8-7 的目的是使照明设计师确定,当不可见辐射被消除,并且照度不超过

足够提供视觉满意度的水平,照度和参观时间的综合作用不会造成对艺术品的破坏。如果照度值被超过,可以相应地缩减展示时间。

#### 3.3.3 基于展品保护的博物馆照明设计步骤

照明设计师的任务是利用最低的辐射实现令人满意的视觉环境,可概括为 7 点要求<sup>①</sup>:

- ① 选择具有恰当相关色温和出色显色指数的光源。
- ② 对于不可见辐射——紫外线和红外线实施严格限制。
- ③ 对于每个光源设置过滤装置。

④ 保证参观者对于严格限制的展示亮度的适应,特别在高感光度材料附近。

⑤ 照度等级的限定刚好保证艺术外观的满意度,同时不超过表 7.8-7 的推荐值。

⑥ 在必要的位置限制年展示时间。

⑦ 保证非展示时间的照度为安保所需的最小值。

CIE2003 提供了博物馆照明步骤的控制性纲要<sup>②</sup>。博物馆工作人员能够使用该表作为建立工作步骤的指南,确保职责就位。鼓励所有的博物馆针对该纲要检查其工作,并且评估其是否采取了足够的措施以避免对藏品造成不必要的破坏。

首先,当为一项新的展示设计照明的时候:

① 按照表 7.8-5 列出的四种类型对所有的展品进行分类。

② 为所有光源安装紫外线过滤装置(包括侧窗和天窗),使用 UV 测试计测试每个光源,确保 UV 值低于极限值(UV<10μW/lm)。

③ 确保照度不超过展示目标所属类型展品的规定值为目标并从视觉上评定其效果,核对照度值。极限照度值是在展品表面任一点的最大照度值。

④ 对每一件展品检查辐射热效应,特别在使用白炽聚光灯的时候。如果辐射热效应十分显著,可考虑使用二色性反射灯具或 IR 过滤装置。

⑤ 核查用于限制展示照明时间的程序和控制系统,评估年曝光时间。

⑥ 测量和记录每件物品或每组物品的照度。计算年辐射值,计划展示时间,进行必要的限制,以确保全部展示和处于危险之中的每个单独展品满足要求。

其次,在展示时段之中:

① 定期使用 UV 测试计检查照明装置,在必要的位置替换过滤装置。

② 定期检查辐射热效应,在必要的时候降低 IR。

③ 定期检查照度,在必要的时候进行调整。

④ 为了限制展示时间而检查展示过程。

## 4 案例分析

本节简要介绍典型博物馆、美术馆的部分照明实例(见表 7.8-9),仅供设计人员参考。

① IESNA RP-30-96. Museum and Art Gallery Lighting: A Recommended Practice. 1996.

② CIE Technical Report. Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation. 2003.


表 7.8-9 部分博物馆、美术馆的照明实例

序号	馆名及相关说明	图 示
1	<p>馆名：中国国家美术馆</p> <p>策略：天窗采光为主，人工照明为辅</p> <p>光源：洗墙灯与暗藏灯均为荧光灯带</p> <p>灯具：洗墙灯为抛物面反射器</p> <p>评述：设感光探头，百叶角度可调，光源可调光</p> <p>图名：角厅照明剖面示意图</p> <p>1—洗墙灯；2—暗藏灯；3—可调百叶</p>	
2	<p>馆名：上海美术馆</p> <p>策略：发光顶棚为主，射灯重点照明为辅</p> <p>光源：荧光灯、卤钨灯</p> <p>评述：发光顶棚为画廊空间提供多种照明模式，射灯可调光</p> <p>图名：首层画廊照片（张昕摄影）</p> <p>1—发光顶棚；2—轨道射灯</p>	
3	<p>馆名：上海博物馆</p> <p>策略：展柜内照明兼作画廊空间照明</p> <p>光源：卤钨灯</p> <p>评述：红外探头控制，无人观看时画面平均照度低于 30lx</p> <p>图名：中国古代绘画馆照片（馆方提供）</p>	
4	<p>馆名：故宫博物院午门展厅</p> <p>策略：吊顶内部上射照亮古建天花；吊顶钢梁底部嵌入射灯轨道，提供重点照明；柱底暗藏灯照亮柱子底部；柜内重点照明照亮展品</p> <p>光源：天花板上照为卤钨灯，侧墙上照和下照均为卤钨灯，柱底照明为荧光灯，轨道射灯为卤钨灯</p> <p>评述：全人工照明，采用了先进的调光系统</p> <p>图名：午门展厅照片（郎红阳提供）</p>	
5	<p>馆名：大英博物馆</p> <p>策略：天窗采光为主，人工照明为辅</p> <p>灯具：每支定制灯具（组）内整合了泛光照明和重点照明灯具，灯具角度可调，反光罩可更换</p> <p>评述：设感光探头，人工光提供补充</p> <p>图名：中庭照片（ERCO 提供）</p> <p>1—天窗采光系统；2—洗墙灯及重点照明灯</p>	
6	<p>馆名：布雷根茨美术馆</p> <p>策略：吊顶内部整合侧向自然光与人工光，创造天窗采光意向</p> <p>光源：荧光灯</p> <p>灯具：直接—间接型灯具</p> <p>评述：设感光探头，荧光灯可调光</p> <p>图名：吊顶内部照片（ZUMTOBEL STAFF 提供）</p>	

续表

序号	馆名及相关说明	图 示
7	<p>馆名：大英博物馆</p> <p>策略：天窗采光为主，人工照明为辅</p> <p>评述：设感光探头，百叶可调；采光系统内部设置了检修通道，换灯和调试十分便捷；自然光经过两次过滤后，进入画廊空间；人工照明灯具位置隐蔽，创造全自然光照明的意向</p> <p>图名：画廊剖面图（CIBSE 提供）</p>	
8	<p>馆名：Wallraf-Richartz Museum</p> <p>策略：人工照明的发光顶棚模拟自然光</p> <p>光源：荧光灯</p> <p>评述：荧光灯的间距以及与顶棚之间的距离经过精心设计，实现了顶棚的均匀透光效果；投射到展品表面的光对自然光光色进行模拟；专业调光系统保证强度可调，以适应不同展示需要</p> <p>图名：画廊照片（ZUMTOBEL STAFF 提供）</p>	
9	<p>馆名：Audrey Jones Beck Building</p> <p>策略：天然光结合轨道射灯</p> <p>光源：卤钨灯</p> <p>评述：轨道射灯与天然光同方向，为天然光提供补充；轨道射灯与天然光的光色不同，画面照明光色为二者混合的结果</p> <p>图名：画廊照片（《Museum architecture》）</p>	
10	<p>馆名：西班牙毕尔巴鄂古根海姆博物馆</p> <p>策略：天然光结合轨道射灯</p> <p>光源：卤钨灯</p> <p>评述：悬吊式灯桥与采光系统结合为不规则展厅提供照明，不规则展厅中的灯桥方便照明的调试与维护</p> <p>图名：画廊照片（ERCO 提供）</p>	
11	<p>馆名：Museum Fondation Beyeler</p> <p>策略：天然光结合洗墙轨道射灯</p> <p>光源：卤钨灯</p> <p>评述：百叶可调，人工光与自然光经由感光探头实现联动，人工光为自然光的补充，保证画廊空间的墙面照明均匀</p> <p>图名：画廊照片（ERCO 提供）</p>	

续表

序号	馆名及相关说明	图 示
12	<p>馆名：Kimbell Art Museum</p> <p>策略：天然光结合洗墙轨道射灯</p> <p>评述：以穿孔铝板做人字形断面的光线反射漫射板，既可避免阳光直射，又可消除眩光，还能让少量阳光散射入室内</p> <p>图名：画廊照片（《The Museum Transformed》）</p>	

# 第9章 剧院照明系统

## 1 概述

### 1.1 主要特征

文化娱乐建筑为艺术创作提供了良好条件，舞台、观众厅等照明分类是否合适，对人的观感起着相当大的作用，直接影响到戏剧的表演效果。光源、灯具调光台和操作者的结合，不一定能获得理想的灯光效果。因为光源灯具性能好坏只决定打出光束的质量，调光设备仅用手动控制灯光变化方式，操作人员素质、临时情绪和心理感受，才能左右灯具是否恰如其分地反映舞台的艺术走向。现代剧院不仅强调真实，更应警惕视觉污染。

照明界比较一致的看法是，舞台照明应突出视觉、写实、审美和表现这四大因素，即应体现设计和操作的基础。视觉上要使观众很好地看见舞台上的景物，即能正确理解戏剧、舞蹈的创作演出意图；写实是使舞台看起来好像是真实生活的场景，即照明如实反应的效果；审美是要把舞台表现得很美，使观众从场景上获得赏心悦目的感受；表现是要渲染出戏剧、舞蹈等的思想情绪，这一切要靠和谐的灯光来衬托。

### 1.2 光源灯具

1) 聚光灯。聚光灯将点光源发出来的光束利用反射镜集中到前面，通过透镜对舞台的局部范围自由地投出光线。灯光范围明显，近于平行光，光圈边缘显著。供舞台使用的有柔光聚光灯、平凸透镜聚光灯和轮廓聚光灯三种形式：柔光聚光灯，是使用菲涅耳透镜结构发出光线轮廓柔和而显出轻松情绪的照明器具；平凸透镜聚光灯，光线性质较柔光聚光灯为强，轮廓虽已清晰，但无轮廓聚光灯那样聚焦，它是舞台照明必不可少的照明器具；轮廓聚光灯，又称高强聚光

灯，它有两个透镜，附有能改变受光面积的光阑和能使投光变化形状的截光板（又使投光面周围光线强烈聚焦），用于追踪表演者。光源为氙灯或金属卤化物灯。该灯利用率高，广泛用于音乐、芭蕾舞、戏剧场面表现上。

2) 泛光灯。光线指向范围广、柔和而均匀，在照明范围内没有光斑及其边缘痕迹，为得到色光，需要设滤光片支架。这种远距离照明的泛光灯，将光源直射光和从曲面而来的反射光，由透镜聚焦而射出。还有范围更广的条灯，为强调舞台局部或产生明显效果的柔和光线，或为使曲面有均匀照明、能调节其角度而设计的单独灯具。舞台泛光照明有顶排灯、脚光灯、天排灯、地排灯、带状灯、方灯和广角泛光灯。

3) 回光灯。光质硬、射程远，在对人物与布景的使用中大多用作逆光和侧光，以强调景物的轮廓线条。该灯无透镜，在灯箱后壁装有球面或抛物面反射镜，并在灯泡前加有球面镜，使光源的直射光不产生散射，构成反射光束投射出去。

4) 柔光灯。柔光灯指一种有足够面积产生散射光，并能使边界模糊光束的灯具。

5) 道具灯。道具灯指作为舞台上道具用的灯，如油灯、台灯、壁灯、路灯等。

6) 特殊灯。特殊灯指舞台特殊用途的灯具，如篝火、火舌等。

7) 特殊效果灯。为在舞台上营造出戏剧中的不同气氛的场面，多数采用的是幻灯效果，将雨、雪、云、火焰、波浪烘托出来，反映出大而亮、活动的投影特技效果。它一般由光源和聚光透镜组成的，在聚光灯前面插入，和效果有机结合在一起。在它的前端安装按投光距离和投影大小来选用的物镜，调节投影状态即可使用，也可把聚光灯镜放进平凸透镜聚光灯中，以代替特技幻灯具。

表 7.9-1 为常用舞台灯具技术参数。

表 7.9-1 常用舞台灯具技术参数

灯种	名称	型号	外形尺寸 (长×宽×高) (mm×mm×mm)	质量 (kg)	卤钨灯光源	电压 (V)	功率 (kW)	光束角 (°)	发光强度 (cd)	评价
泛光灯	八角条灯	WSG—8×100	1160×90×60	8	条形	55	0.1	>120	1.8	利用率高，光斑不明显，难以控制。适用于大面积照明条状灯，可用于顶光、脚光。天（地）排光将天幕均匀照亮或染色
	云灯	WSG—1000	440×215×300	2.7	条形	220	1	90~103	11.25	
	四联	WFG—1	820×120×245		条形	55	0.125	>95	1.8	
	天、地排灯	WSD—1.2	490×230×410		条形	220	1.25	62	13.5	
聚光灯	一般	WJG—2000	470×415×400	9	燕铝白炽泡	220	2	11~33	2600~110	此灯是舞台基本道具，其光斑中间亮，边缘暗，俗称软光斑，便于多灯衔接，用于任何部位
	一般	WJG—2	480×200×220	7	管型	220	0.75	31	4.8	
	一般	WJD—750	400×270×210	4.3	管型横螺	220	0.75	13~19	120~19.2	
	变焦	WJP—1000	620×234×242	4.5	管型横螺	220	1	13~22	24~19.69	
柔光灯	螺纹镜	WRC—100	390×350×340	6.7	石英管型	220	1	11~28	52.48~12.8	光斑均匀，也属软光斑。但散光较大，常配挡光板，适合台口内灯内使用
	螺纹镜	WRC—2000	420×430×440	8.7	石英管型	220	2	11~33	280~190	



续表

灯种	名称	型号	外形尺寸 (长×宽×高) (mm×mm×mm)	质量 (kg)	卤钨灯光源	电压 (V)	功率 (kW)	光束角 (°)	发光强度 (cd)	评价
反射式灯具	镜面回光灯	DHC—1000	300×360×340	5.5	石英管型	220	1	19~37	378~58.5	光利用率高,但光斑调节范围小,散光圈大。筒形、光束小的可形成光柱、光墙;大口径的用于台口外需要强光的灯位。台口内主要用作侧光、逆光
	镜面回光灯	DHC—2000	345×470×440	8.6	石英管型	220	2	19~45	1056~176	
	光束灯	WFJ—1	450×195×195	2.6	管型立螺	55/220	0.5	6~11	500	
	无透镜聚光灯	WHG—4	320×214×214	2	管型立螺	220	0.75	14~31	58~57.6	
	光束灯	YSG2—2	475×300×300	1	管型立螺	110/220	1	2.4	235.2~230.4	
造型灯	一般	WCQ—500	482×338×300		管型立螺	220	0.5	30~50	24.5~19	光分部均匀,光斑边缘清晰,俗称硬光斑。可用造型板(片)来改变。光斑的形状。用于需要对光进行严格控制的场合,但不易衔接
	一般	WTQ—1000	698×381×622		管型立螺	220	1	12~40	42~122	
	变焦	WZP—I	620×184×194	7	管型卧螺	220	0.75	11~21	252~110	
	变焦	WZP—II	780×234×366	8.5	管型卧螺	220	1	7~16	293.75~213.75	
	变焦	WLJG—A1	735×280×260	7.5	管型卧螺	220	0.75	17	101.25	
	变焦	WLJG—A2	555×280×260	9	管型卧螺	220	0.75	10	281.25	
幻灯	广角	FGH—1000	560×254×366	10	排丝石英	220	1	90	2.88	用于天幕,采用绘制变形灯片的方法消除灯具的“畸变”,使多功能很好地衔接成一个完整的画面。加上各种附加器件,还可产生各种特殊效果
	旋转	WHD—2000	620×350×544	14	蒸铝白炽泡	220	2	53	7.2	
	投影	WHD—1000	650×290×510	25	排丝石英	220	1	105	2.688	
追光灯	远距	S2—2000	1670×800×1500	150 击型	球形直 流氙灯	40	2	3~9	22 500~20 800	这是舞台最高、最重、结构最复杂的灯种。具有光斑软、硬可调,孔径形象可变,色彩可换等功能。小型的用于台口内,大型的用于台口外,各灯位直至剧院的最末端
	中距	S2D—500	950×340×180	9.1	球形短 弧钨灯	220	0.5	6~18	3600~3200	
	一般	WZG2—1000	1200×390×200	15	高效金卤灯	110 (AC)	1	10~17	9600~6000	
	一般	GZG—A	1160×800×950	16	高效金卤灯		0.8	10~18	1350~1320	

## 2 剧院照明设计

### 2.1 出入口

出入口应烘托剧院建筑形式,创造引人注目的娱乐气氛。在利用照明来强调入口时,为使观众眼睛能够适应亮度变化,照度需逐步增加。入口大厅为室外与室内的过渡空间,厅内有服务台、售货柜和浮雕、版画、大型剧照、影片广告栏,供人们购置节目单、物品和赏析。所以照明设计上应采用简练而留有余地的手法。

1) 一般照明。多在剧院门口挑檐下嵌入筒灯,或在临街的主体建筑墙上做壁灯或独立柱灯。但要求整体性强,与建筑形式及室内设计风格统一协调。加拿大威尔士亲王夫人剧院,因其周围的空间极小,门厅又紧贴在大厅之下,位于一个顶棚低矮的空间里。设计师便利用入口门厅窟窿及聚光灯闪烁的灯光,使人仿佛觉得门厅的体积增大,拱顶增高。拱顶两侧波浪起伏的凹槽中的40W白炽灯突出了曲线,并用连续的暖光照射拱顶以及嵌入的MR—16型50W聚光下射灯,都有助于突出顶棚的形状并产生闪烁光。

因为在演出之前以及幕间休息时,门厅里挤满观众,设计师特别注重顶棚的设计,采用了照明反光材料,更使门厅增添了一种娱乐和喜庆的气氛。考虑到人们出入影剧院眼睛的适应状态,同时需要能够识别人面部表情的照度,设计师以此来确定顶棚嵌入筒灯的数量和排列,而剧院某个次入口门厅则采用以筒灯为主的布置方法。日本某文化部门的门厅灯具不仅解决了照度问题,并且还注意吊顶的高低错落和装饰灯具的良好配合。它所设置的条形灯使光源产生纵向的引

导作用,更加突出了视觉中心。

2) 重点照明。为突出建筑形式,于门前立柱上做成组的泛光灯,进行定向投射,有时也打出色光。前厅吊顶上嵌入可移动角度的卤钨筒灯,突出墙面的浮雕和壁画,使之熠熠生辉。它把光集中到墙面上,而不是地板上、顶棚上,将有助于把注意力引向浮雕和壁画;在需要鉴赏其色调的变化和每一个细节,有时还要看清表面质地的同时,从墙面上反射的光将为观众通行提供必要的低水平照明。

一门厅壁龛的重点照明很有创意,它是利用两种照明的反射光完成灯光预期目标的:台下一只隐蔽式PAR38上射灯,衬托出花束的轮廓;顶部支架上的一只隐蔽的霓虹灯管,照亮壁龛的上半部和拱形顶,以上灯光的选择都是为了突出插花的效果。白色调的卤化物灯光源具有较强的显色性。花束上方嵌入的50W灯,可根据拱形顶的斜度调节,将光束直接照射到花束上,靠灯光的分色性能显出花朵的艳丽色彩。色温3600K的霓虹灯与具有较强显色性的卤化物灯作巧妙搭配,前者装在拱形顶吊架表面,它不仅柔和地照亮了花束后面暖色调的石灰岩墙壁,突出了石灰岩金色和酒红色斑纹,而且也突出了拱顶下端指向花束地尖角,并增强了壁龛里面的照度;后者是一只100W PAR38上射灯,于台面后方凹陷处设置,它自下而上将灯光漫射到花束后面的墙上。

另外,由于雕塑是由石料、金属、黏土、石膏和木材制作的,所以对墙上挂的浮雕板最好用荧光灯照明,灯设在靠近庭院一个檐板的后面、比展品稍高一点的位置。需采用专门设计的反射面,以免浮雕板上下两端视觉亮度的反差过大。在较高浮雕板内的画面,用比较小的锐角照明,以增强

立体感,白炽灯或荧光灯结合的照明也是适用的。

3) 装饰照明。这是门面照明的主体,方式越来越多,且独具地方特色风貌。加蓬国民议会大厦室外照明中,设置封闭金属卤化物防水泛光灯,照射主楼正立面和侧立面。主楼入口喷水池配合建筑形式,设置能改变颜色的一系列水下灯,道路、停车场一侧设距地 0.5m 的杆式圆柱灯;剧院大门上方、售票厅、舞厅、咖啡厅等处门面设霓虹灯,能收到较好的效果。霓虹灯变压器置于屋顶墙旁,做好防水处理;使用勾边灯和裸灯泡连续安装,以显现建筑物轮廓造型的同时,渲染娱乐气氛。

前厅的主体饰物需选用与剧院设计风格一致的大体量、高品质的多火花灯,根据气氛的要求决定照度,以提高文化设施的层次,增加宾客再次光顾的可能性。某剧场采用三阶梯晶体大型花灯,备受欢迎;某电影院前厅为晶体组合吸顶灯,配上筒灯及招牌霓虹灯,于盘内集中控制;某评剧院主入口花灯配槽灯方式,受到称赞;还有的剧院用投影机将画面投射到墙上,起到装饰效果;或在两侧楼梯顶部跑马廊处吊挂引人入胜的大型花灯,且注意防止观众的触碰程度,保持其完好率;此外还有在地面设置安装照明,与金属装修的楼梯结合,形成高科技的艺术效果。

凡借用楼梯下部或某角落制作小型金鱼池的前厅小品,可斟酌作水下灯;适量的草坪灯可以点缀引入室内的饰物,供人们观赏的同时还能达到巧妙含蓄,起到提示和指向的作用;此外,休息廊顶上的照明作筒灯后,还可顺着墙呈蛇状嵌入布置荧光灯管,这种表现光影的形式与色光的综合艺术效果,使厅的两侧休息室照明颇为生动。

## 2.2 贵宾室

1) 一般照明。在这类接待贵宾的高规格房间内,交错分布的一些筒灯、纯粹是作为花灯的陪衬而设置的。

2) 重点照明。常常是运用可转动角度的高效筒灯,定点照射壁画或代表剧院荣誉的珍贵纪念品,以起到渲染作用。

3) 装饰照明。强调和室内装饰搭配适当,选用和房间净高度匹配的吊挂、吸顶的花灯,是否设壁灯应因地制宜。

## 2.3 观众(演)厅

人们进入厅内,首先映入眼帘的灯光布置非常重要,它直接烘托出艺术要领及档次,所以要配合建筑吊顶形式进行布光。既能满足看清节目单的照度,还应以独到的手法,设计顶灯、壁灯、太平门灯、座位牌号灯、脚灯和清扫照明灯等。

1) 一般照明。首先进行灯具安装方案的选择。目前常用的有方形灯、圆形灯、满天星嵌入灯、暗槽灯、横(纵)向的荧光灯光带。遇有楼座时,则在板下作均匀分布的嵌入(吸顶)灯。室内要将部分灯单置一路作清扫照明用;吊顶内,按照马道所在处均匀作吸顶灯,转弯处不可忽视,需设置满足维修人员使用要求的照明。所有灯具均于检修人员上吊顶后,就近盘内集中控制。

多种形式的布灯方式:嵌入顶棚向下直射型灯具的多灯组合,采用荧光灯线状排列,顶棚采用多管荧光灯具和天棚分段反射式照明法。照明的要点是:光源的亮度要低,观众感不到眩光,尤其注意二、三层楼梯的观众。在观看演出时,光源不能在视野内。观众厅的照明要不致碍于和放映时在顶棚内部进行维修,平时要注意器具的清扫和损坏灯具的更换。同时合理分配照度以满足厅内的功能要求。

2) 重点照明。牌号灯按照规范确定的光源及分布,有 36W 的白炽灯和电(场)致发光灯两种,一般隔行安装与座椅相对应;有的剧(影)院入口通道较长,于墙面一侧做脚灯;楼上楼下观众厅出入口处均做应急灯,平时充电,故障时,放电时间不小于 20min。

3) 装饰照明。这是构成剧院风格和增加照明效果的重要环节。把建筑与灯具的艺术性相协调,且和吊顶、墙面作统一考虑。鉴于观众厅的多功能,顶灯的照明设计可作多方面考虑,可采用带装饰性的发光顶棚或暗槽灯,还可以设置华丽的枝形花灯。北京某电影院和建筑专业紧密配合,根据吊顶凹凸变化的形式嵌以方形灯具;某剧院顶棚的反射体周围置卤钨灯,和一般照明相间排列,取得较好的艺术效果;某音乐学院演奏厅吊挂几个大型花灯,也是可取的方法。壁灯要注意和顶灯相协调,或做装饰壁灯和暗槽灯,以照明器的形式装饰墙面,也兼作厅内补充照明。剧院利用墙面 6 条弧形反射体,其周围做暗槽灯,和顶棚上吊挂的 16 个球面反射体呼应,相得益彰。

## 2.4 舞台

舞台照明是一种独特的造型艺术,用现代照明和电影形象的手段将大自然的变化,如朝、夕、昼、夜及四季的自然景象以及人物的感情等形象逼真地表现出来,能够满足各剧种、舞蹈、会议等功能的要求。随着舞台上故事的展开,人们较长时间地进入欣赏阶段,若映入眼帘的光线刺目,则不能使观众保持平静的心理状态,甚至不能继续看下去。特别是老年人,对中心视野的光不太敏感(这会降低可见度),而对周边会引起眩光的光线更加敏感。舞台概括起来也是三种照明方式的结合。

### 2.4.1 照明方式

1) 一般照明。一般照明是为了照亮整个场所,在观众视野范围内具有空间亮度分布光环境而设计的照明。若布光较均匀,即使房间工作性质变化,也无需更换灯具。在有些情况下,最好是用有特殊光分布的灯具,使光主要来自一个方向,如观众厅灯、舞台顶光等。

2) 重点照明。在小范围内,向各种对象采用个别照明方式来重点表现,富于灵活性。此类照明需要很强的指向性灯光辨认形状和质地,如舞台面光、侧光、柱光等。

3) 装饰照明。装饰照明是以其整体形象、特有的环境气氛打动观众的一种观赏照明,如大厅吊花灯、舞台天排光等。

各种功能要求的照明方式是根据舞台的演出内容不同而异的:讲演及会议,以均匀的白色光为主,对讲台进行照射;歌舞、音乐会以均匀的白色为主,很少有变化;歌剧、现代舞、立体舞台照明,以局部照明为主,明暗变化多而迅速;古典芭蕾背景较多,部分均匀照明,为了突出立体感,进行多方向照射,有较多的照明变化;短剧的舞台装置多,照明效果要求高,使用多种照明器具,有较多的灯饰配合演出变幻。

所以,照明方式设计原则是无论采用何种照明方式和照明种类,对民用建筑照明设计而言,从布灯、选型、尺度、灯具材质和结构、安装部位和方式等都应特别注意建筑整体美,切勿过分强调照明功能而忽略民用建筑的特点和装修的总体要求。当然,对于照明功能要求较高的场所,仍需在满足照明技术指标的前提下,积极地配合建筑物艺术效果。

### 2.4.2 照明种类

概括来说舞台照明有它的特殊性:一般照明指顶光、伸

出式舞台作为部分顶光的吊点灯环。以及葡萄架上、天桥上的照明；重点照明，有面光、耳光、柱光、侧光、脚光、流动光和伸出式舞台的低角度面光、内（外）侧光、转台流动光，以及乐池内设置的低压插座；装饰照明指天排光、地排光和舞台上使用的激光效果器，流动音乐喷泉以及各式电脑灯光。

#### （1）镜框式舞台

1) 面光。面光装在舞台大幕之外、观众厅顶部位置，光线从正面投射舞台前部表演区。为达到观看演员艺术形象的立体效果，第一道面光光轴与大幕线夹角应为  $50^\circ$ ，第二道面光光轴与上台唇前沿夹角为  $50^\circ \sim 60^\circ$ ，射至表演区中心角为  $35^\circ \sim 40^\circ$ 。这种照射表演区前部的灯光，架设在面光桥上（桥应有 0.9m 通道），且与耳光、天桥和灯控室相通。

2) 侧面光。侧面光指在观众厅挑台两翼和楼厢上设置的灯光，投向舞台表演区，作为面光的补充。

3) 耳光。耳光一般装在舞台大幕之外，靠近台口左右两侧放射性墙壁里。光线从侧面投向舞台表演区，其作用和面光相似，它左右交叉地射入舞台表演区中心，用于照射表演的侧光、追光，以加强舞台布景、道具和人物的立体感。耳光光轴应能设置于表演区中心的  $2/3$  进深，或大幕线条 6m 处。面光、耳光又称主光，是一般剧院不可缺少的两种光。尤其是舞剧，在耳光室内设置舞蹈表演时的追光要能随演员的台步转动。耳光室应分层设置，最下层的应高出地面 2.5m，每层净高小于 2.1m，射光口与层高相同，放置护网，层间有运景通道。

4) 顶光。顶光指在大幕顶部的聚光灯具，装在吊杆上，给整个舞台以均匀照明，主要投射于中后部表演区。第一道顶光设置在台口内上部或假台口上框，一般为通道或渡桥型。沿台口檐幕向台后顺序安排在吊杆上的灯为第二至第五道顶光，它是自上部照射舞台的灯光，也是舞台的基本灯光，不论演出、开会都是不可缺少的。其他几排顶光装在灯光吊杆或灯光渡桥上，排在每道檐幕后和每一景物前。配电箱和电源管线明敷于葡萄架上，配电箱至灯杆使用伸缩线路随活动吊杆升降。为便于灯具安装及布线，在顶光吊杆上加装线笼，吊杆下加设线槽。

5) 柱光。柱光指在舞台台口大幕内两侧，安装在可以升降和左右活动的台口上（假台口），或立式铁架上，为照射表演区中、后部的灯光。它可以随着舞台布置的需要调整高低和左右的位置。光线从台口内侧投向表演区，主要是照射演员侧面部位，增强与弥补耳光的不足。

6) 侧光。侧光指舞台两侧天桥上安装的灯。光线从高处两侧方向投向舞台，即从侧面照射表演区，用来突出演员面部的辅助灯光和加强布景层次，增强立体感，是舞剧中不可缺少的灯位。灯具装在一层天桥栏杆处，投射到舞台中心轴的投射角为  $30^\circ \sim 40^\circ$ 。

7) 脚光。脚光为台前大幕下部和演员的辅助灯光，设在舞台前沿的脚光槽内，加盖并与舞台平齐。这种大幕外台唇部位的台灯，其光线从台板向上投射于演员面部或照射大幕的光，可弥补面光过陡，消除鼻下阴影，以增加演员在演出时艺术造型下部投光的亮度。有时在演出前用脚光投射到大幕，以增加其色泽。

8) 天排光。天排光指在天幕前舞台上部的吊杆上，专门附射天幕的灯光。天幕水平灯装在吊杆和灯光渡桥上，自上部照射天幕，作天空布景照明用。

9) 地排光。地排光装在衬景后面、天幕前边的台板上或专设的地沟内，是仰射天幕的灯具，用来表现地平线、水

平线、高山、日出、日落等。

天排光、地排光和景灯、云灯，操作比较频繁，剧团舞美灯光人员对天幕区灯光的操作要求，因剧种不同而不相同。活动地板上通常用一排不同效果的云灯，自下部向上照射。天幕利用这些灯的不同色片的深、浅和灯光的明暗表现白天、黑夜、早晨、黄昏、春夏秋冬与云彩的变换。天幕投影灯较地排灯效果更好，将景、物画在科幻胶片上，用投影幻灯射到天幕上，可以代替一部分画幕。

10) 流动光。流动光指放置在台板上带有灯架、能随时移动的灯具，用于重点照明，置于表演区两侧地面线槽内，按剧情要求调节灯架角度，满足演出时的特定环境要求。

#### （2）伸出式舞台

这类舞台照明除了具有镜框式舞台照明的功能外，自身还有着许多特点。由于该舞台类型多、差异大，迄今并没有人总结出像镜框式舞台那样固定的照明设计模式。按国内的工程实践看，应具体问题具体分析，难作统一规定。随着伸出式舞台剧院照明设计的进一步完善，尤其要是展示演员面部表情，就必须在其正面布光。观众若以  $180^\circ$  三面环绕舞台演员，则需有  $180^\circ$  的正面光，这时对表演区的正面投光只好围绕演员延伸。即从每个座位看，整个舞台对演员的布光在可见度上也应是完美的。从舞台的每个角度都能创造出不同的画面，同时又把每一画面保持住，使之成为戏剧中某一时刻的正确表达，因而也为灯具和照明技巧提出了较高的要求。

由于舞台的展开，主要表现于灯位或灯桥的布置、灯位与建筑空间，特别是顶棚与声学及装修的关系等方面的不同，其照明特点如下。

1) 观演厅上空。由于舞台深入观众席中，所以传统的靠近镜框台口的一道面光远远不够。为了使正面布光的俯角保持在  $30^\circ \sim 60^\circ$  之间，在伸出部分经常采用多道多方向的面光或灯光渡桥。灯桥一般有两道以上，有的多达 4~5 道，呈直线、折线、弧线或分段式布置（一般围绕舞台伸出部分），保持垂直向下投光；渡桥可作成移动式的，以适应不同的折射角度。

目前国外有些开敞式舞台剧院的观演厅顶棚是采用定型钢格栅或应力钢丝网，使顶棚上任何位置都能布置灯具，灵活性大大提高了。其他有如藻井式或光穴格栅，用井字形交叉的马道隔出向顶棚上方突出的穴，其四边均可布置灯具，这种投光灯具具有很大的可变性。在一般中、小型伸出式舞台剧院中，大多采用裸露的灯桥（刷上深暗色油漆，以减少投光的障碍）。

自动化程度较高的剧院常设置自动升降的灯光吊笼，有的选用了悬垂在观演厅上空的灯架，有的可以单独升降以适应主体布置的需要，其线路可自动调解长度。这样的竖向灯光吊笼可在不同的高度上安装许多灯，升起后，消失于顶棚之上，降下时，就成为空中悬挂的投光设备。有些多功能剧院还设有可升降的水平灯桥，以改变投光角度。

2) 舞台上空。这和镜框式舞台布置大体相同，有顶光、侧光、天排光等供舞台表演区景物、演员的顶光、逆光和背景照明用。灯位一般采用均匀分布或沿舞台上部环形灯轨设置，但要结合布景的吊杆或吊顶的位置统筹考虑。

3) 侧墙。这相当于传统的耳光照明。在现代伸出式舞台剧院经常采用裸露的灯具，灵活布置于侧墙或侧挑台等处。光束可以照到全场的任何位置。特别是用于上下场口的追光，时而投向舞台，时而投向座席区的通道，还有的则利用侧面包厢或围廊的栏板设置灯具，这比传统的耳光要具有

更大的灵活性。

4) 后墙。观演厅后壁灯可用作舞台背景或演员的低角度的照明,经常是成排地布置在大厅后墙上方或挑台的栏板处,类似一道低角度的面光。

5) 挑台边缘。这是为了充分利用挑台比顶棚低、且距舞台近的条件,在挑台栏板处设置的灯具。有的将栏板加宽,在内部设灯槽;还有的就直接将灯挂在挑台下方。由于挑台边缘的聚光灯具离舞台近,射角也低,所以具有顶棚灯位所不可及的优点。低平的投射光可照亮演员的眼睛,有时也可以用于内舞台及景物的特殊照明。

6) 台口。装在大幕外台唇部位的脚光,是从前遗留下来的灯光布置。为了密切观演关系,一般不予采用,特殊情况才开启。如在英国舍菲尔德的熔炉剧院伸出式舞台上,设有一圈脚光地沟。在演出需要时,脚光向上面投光,照到演员的光线消失于黑暗的顶棚中,结果证明效果很好。

### 3 剧院专用术语

工程设计中屡屡发现,接受剧院项目的人缺乏对有关专业术语的了解,或不甚全面,特综合如下,供及时查找。

#### 3.1 舞台

我国常用的舞台形式为镜框台口箱型舞台(还有伸出式、中心舞台),由舞台、台口、主台、侧台、台唇、乐池、天桥、棚顶、台仓和面光桥、耳光室、灯光控制室和音响控制室等演出技术用房组成。有些大型机械化舞台设有后舞台。一般舞台都要有挂幕布、景物和灯具,所以必须安装拉幕机、假台口和吊杆等设备。

有的舞台还设有防火幕、灯光渡桥、灯光吊笼、卷画幕机、飞行机构、吊顶、升降乐池、升降台、车台和转台等机械设备。

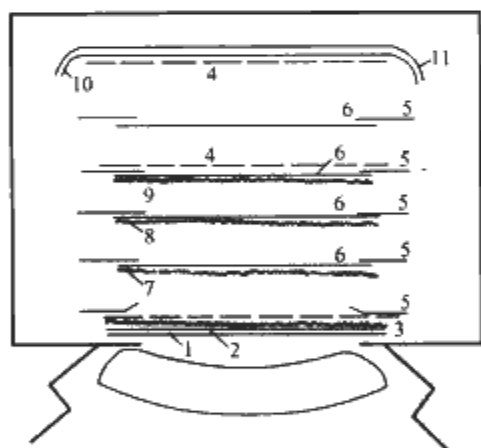


图 7.9-1 舞台幕位示意

1—前檐幕；2—大幕；3—场幕；4—纱幕；  
5—边幕；6—檐幕；7—二道幕；8—三道幕；  
9—四道幕；10—白天幕；11—黑天幕

1) 幕。幕的种类大致有防火幕、水幕、装饰幕、前檐幕、大幕、场幕、台口纱幕、边幕、檐幕、二道幕、远景纱幕、画幕、网幕、天幕等。

2) 假台口。为适应各种不同演出,需要调整台口大小的装置,是舞台不可缺少的设备,由三个钢制框架组合而成。

① 上框。吊在舞台上部的专用梁上,使其升降而达到调整台口的高低,中间装灯部分做成渡桥式。

② 吊点。为保证升降平稳,无论手动或电动,吊点不少于2排,也应大于6个,沿两固假定轨道升降。

③ 两个侧框。立于台口内侧,沿固定的上导轨下导轨横向移动。下导轨不得高出台面,缝隙要用活板条镶平。为安装灯具方便,侧框应按需要分为若干层。

④ 活荷载假台口各层站人搁板。活荷载不小于 $100\text{kg}/\text{m}^2$ ,栏杆的高度和做法应满足安装灯具的技术要求。

⑤ 遮挡。假台口朝观众的一面,应采用不透光的难燃材料遮挡,并饰以与大幕相同的面层。不设假台口的小型舞台,台口内侧应设灯光架。为满足假台口的安装和使用,建筑和结构要在棚顶上空设置悬吊假台口上框的专用梁,安装电动机的平台。侧天桥要做假通往台口上框的码头,并预留配重块升降洞口,要考虑垂直导轨、上导轨、下导轨的安装条件和各部件的受力情况和荷载要求。

3) 舞台机械。舞台机械包括下列设备。

① 吊杆。它是舞台上悬吊各种幕布、景物、灯具,甚至演员不可缺少的机械设备。启动方式有手动和自动等形式,还有液压吊杆。

② 其他。车台、升降台、旋转舞台和升降乐池等。

4) 主台。台口宽度、高度和主台宽度、净深、净高均应与演出剧种、观众厅容量、舞台设备、使用功能及建筑等级相适应。此外还与演出单位人数有关。

5) 侧台。侧台主要是存放和迁放景物。大型机械舞台还要停放车台,侧台最好布置在主台两侧的前部。

6) 台唇。箱型舞台的台唇主要用于报幕、谢幕和换景时演过场戏。但目前国内外许多剧种都喜欢在台唇上表演,伸出式舞台就是由扩大台唇演变而来的。

7) 乐池。乐池位于台唇与观众席之间,局部伸向台唇下面。演出歌剧、舞剧时,供乐队演奏和伴唱使用。话剧也可利用乐池进行表演,产生特殊的艺术效果。

① 面积可按乐队人数计算。

② 栏杆应是透空的,地面宜用木地板,墙面应吸声。地面墙面最好用深暗色,避免反光,并应防止人员掉下。

③ 乐池内应设谱架灯用的低压电源。

8) 天桥。它是舞台上部的建筑设施,通常沿主台四周墙面布置,一般设两到三层;大型机械舞台可设四到六层。

① 一层用于装侧光灯,高度应使侧光光轴到舞台轴线与台面夹角大于 $42^\circ$ ,但又不妨碍侧台的景物出入,宽度约 $1.8\text{m}$ 。栏杆应考虑装灯的技术要求。

② 二层用于装吊杆的控制设备或装渡桥码头,约高于一层天桥 $2.5\sim 3\text{m}$ 。

③ 最上层用于安装吊杆卷扬机或堆放配重块。

④ 凡采用配重吊杆的天桥,与侧墙间要留有安装导轨和配重块升降的缝隙,其间距约 $0.6\text{m}$ 。假台口和灯光渡桥的配重升降洞口,其位置和大小视需要而定。

9) 棚顶。这是舞台上部漏空的工作层。包括各种滑轮梁和机具平台等设施,为了防火,必须采用钢筋混凝土和钢材构造。悬吊设备较全的舞台,其棚顶、滑轮梁最好的与屋架分层设置,对安装、检修和使用都有利。

10) 台仓。台仓是设在台面以下,主要为舞台安装升降乐池、升降台、车台和转台使用的空间。台仓的面积、层数和层数视需要而定。

11) 后舞台。大型专业剧场可设后舞台,主要用于停放车台和转台,也是表演区和远景区的延伸部分。许多倒叙的往事回忆、科幻想象和特殊剧情,都可利用后舞台进行表演。还可在后舞台用放映机加广角镜头或专用幻灯,向半透明天幕反投远景画面,效果非常好。后舞台的尺寸视车台和转台的大小而定,而且应当设必要的吊杆和工作天桥。演出



不用后舞台时,可以当排练厅使用或存放景物。后舞台口应设防火隔音幕。

### 3.2 专用房间及设施

1) 耳光。耳光是设置在观众厅两侧的灯光设置。

① 位置。应使光轴经台口沿射向表演区,与舞台中轴线的水平夹角以  $45^\circ$  为宜。

② 分层。第一层地面高出台口面 2.5m, 每层净高为 2.2m 为宜。射光口净宽为 1.2m, 如每排装三个灯则为 1.5m。

③ 射光口。射光口应设护网, 要求与面光桥相同。

④ 台唇。当台唇表演区扩大伸出时, 根据需要应增加耳光室。中国剧院设有两段面光桥和三道耳光室。

2) 远距离追光室。专业剧场除在面光桥、耳光室、假台口上追光外, 还可在观众厅后部设远距离追光室, 效果良好。这在国外很流行, 我国已能生产射程达 40~80m 远距离追光灯。

3) 灯光控制室。自从灯光采用微机控制后, 为使操作人员正面观看表演, 灵活机动地跟随剧情变化控制灯光, 目前国外新建剧场, 都将灯光控制室布置在观众厅后边。许多老剧场在更新调光设备时, 也将灯控室改到后面。为了减少布线, 调光柜和主回路换接系统仍应靠近舞台。

4) 音响控制室。音响控制室最好也布置在观众厅后部, 一般与灯控室左右对称。观望玻璃窗应能打开, 以便操作人员听到直达声。

5) 面光桥。面光桥是设置在观众厅顶棚上的灯光设施。

① 设置。应使光射到台口线与台面的夹角成  $45^\circ \sim 50^\circ$ 。

② 要点。面光桥和护网的构件, 不得妨碍光射向表演区。

③ 地板。地板应采用非燃材料, 并铺绝缘地毯。除射光口和进出口外, 应全部封闭。甲级剧场应有通风或空调。

④ 通道。面光桥必须有方便的通道与耳光室和主台天桥相连。

⑤ 数量。当乐池升起或加盖板, 扩大台唇表演区, 一道面光桥显然不能满足使用。

## 4 应用实例

### 4.1 中国评剧大剧院

位于北京城南的中国评剧大剧院[见图 7.9-2(a)]剧场, 是 1998 年建成并投入使用的。该剧场观众厅[见图 7.9-2(b)]可容纳 1100 人, 是集会议、演出、放映为一体的综合性场馆。该剧场设备齐全、先进, 具有时代感。高照影视公司承接的舞台灯光[见图 7.9-2(c)、(d)]、舞台监督系统受到用户好评。

#### (1) 灯光控制室

调光设备的各种配电装置之间及到灯具的配线力求最短。因此, 合理地选择位置是很重要的。本工程灯光控制室设在观众厅的侧面, 高于舞台且容易观察舞台演出。控制室前视野宽阔, 设置大玻璃观察窗。但应注意控制台与玻璃窗的反射, 以免影响观察舞台。调光配电室与照明控制室之间较多的线路, 因此两室之间应尽量就近设置。同时灯光配电室也应在舞台最近的地方设置, 因为从柜体至舞台灯具的管线极多。

当主配电盘、调光柜、分配电盘之间的配线较多且较集

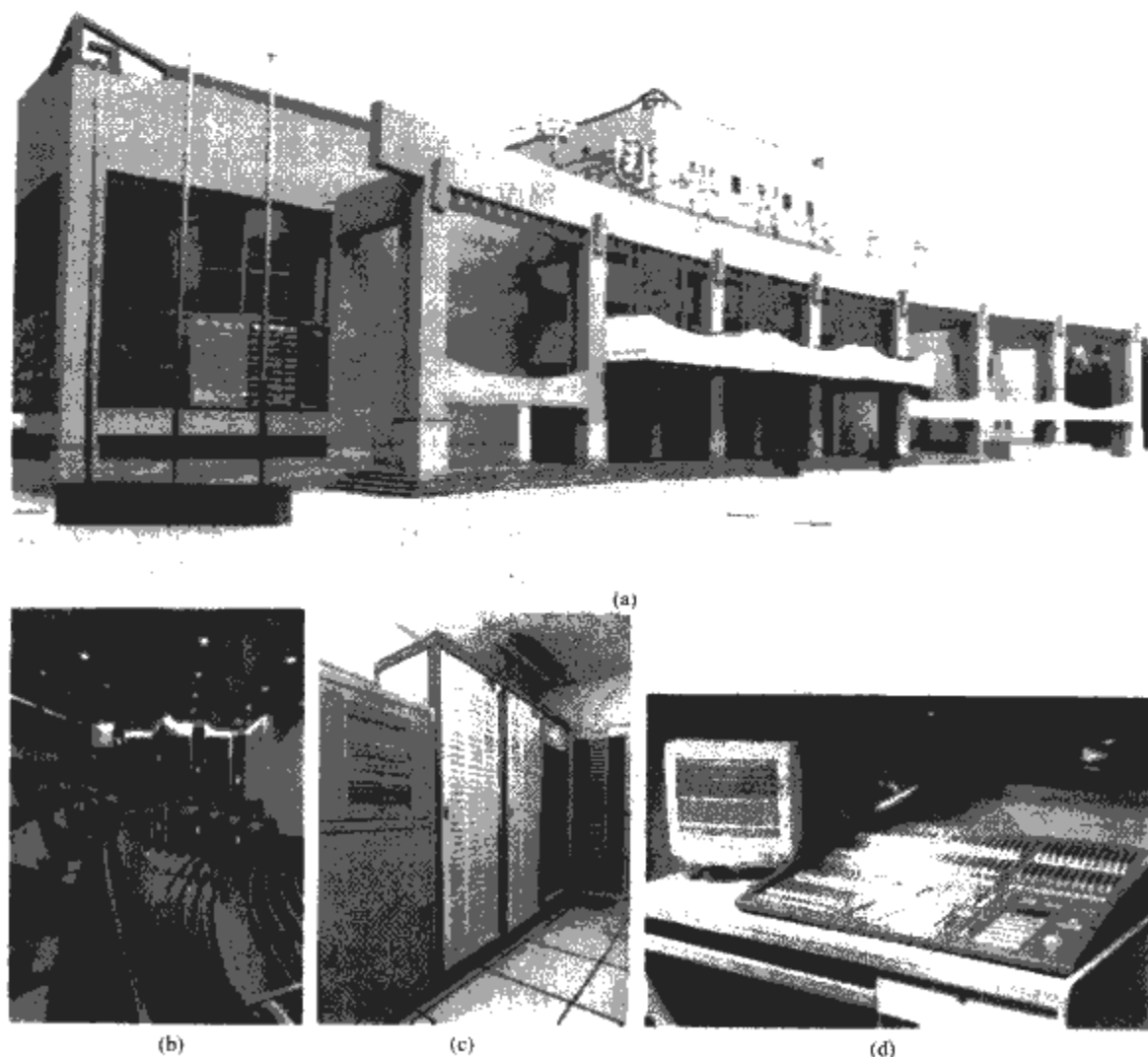


图 7.9-2 中国评剧大剧院  
(a) 外观; (b) 观众室; (c) 可控硅调光室; (d) 灯光控制室

中时,应采用线槽或地槽集中装设,强弱电之间采用隔板隔离。

(2) 照明回路

舞台照明回路见图 7.9-3~图 7.9-5、表 7.9-2,系统设计新颖。它的思路是将其做成多功能的演出场所,采用了大量影视型灯具和 100 多只电脑灯光换色器。调光采用英国电脑调光台,不但能演出戏剧、歌舞、话剧,还能够作影视表

演、广告制作、服装表演等用途。

如果回路数确定少了,就需要更多的灯光管理人员来进行调光和更换色片的工作,无形中增加了长期管理费用。一般来讲,歌舞剧要求灯数较多,话剧、京剧、评剧等则少一些。

(3) 照明、机械部位

1) 舞台照明 (见图 7.9-6~图 7.9-13)。

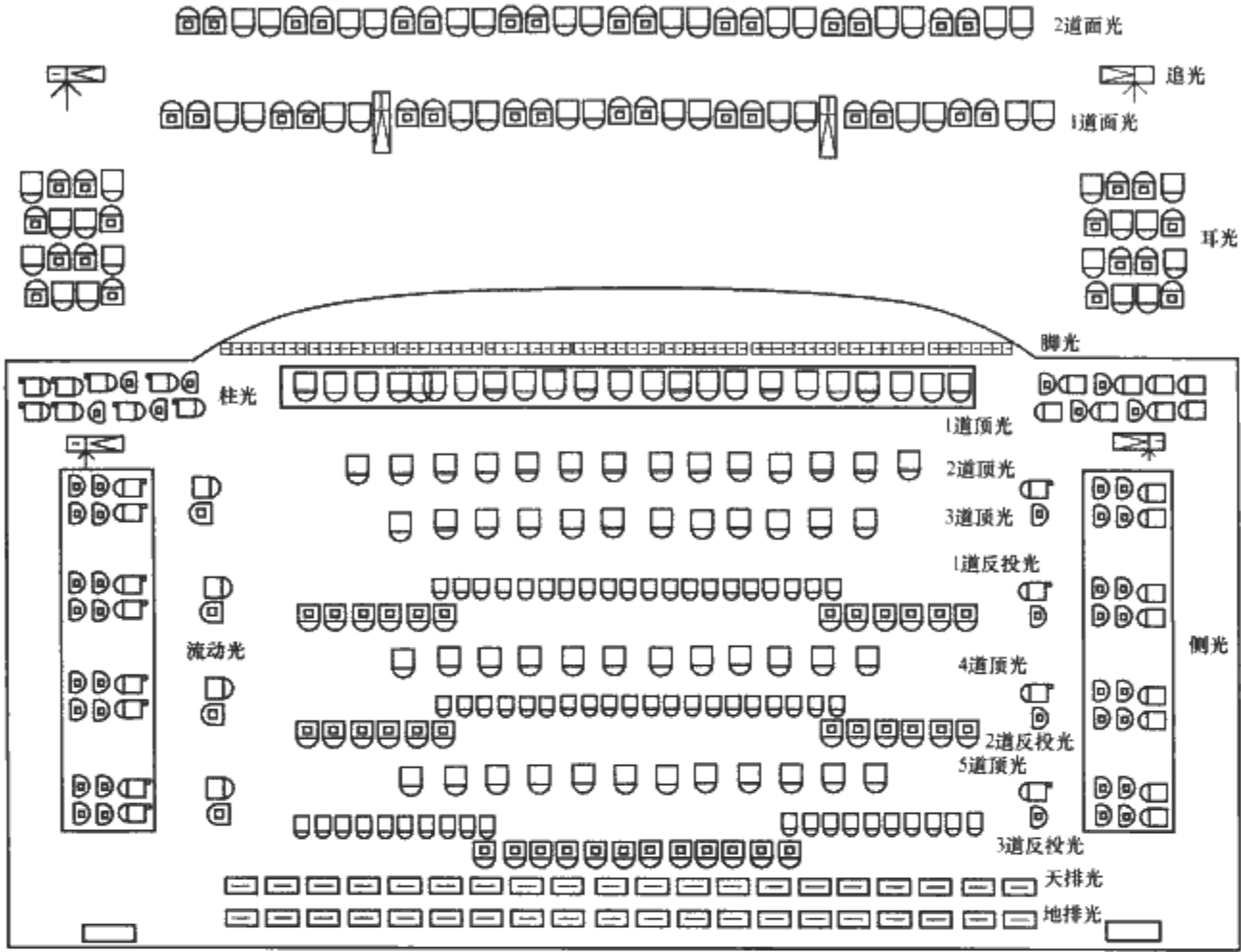


图 7.9-3 舞台照明分布

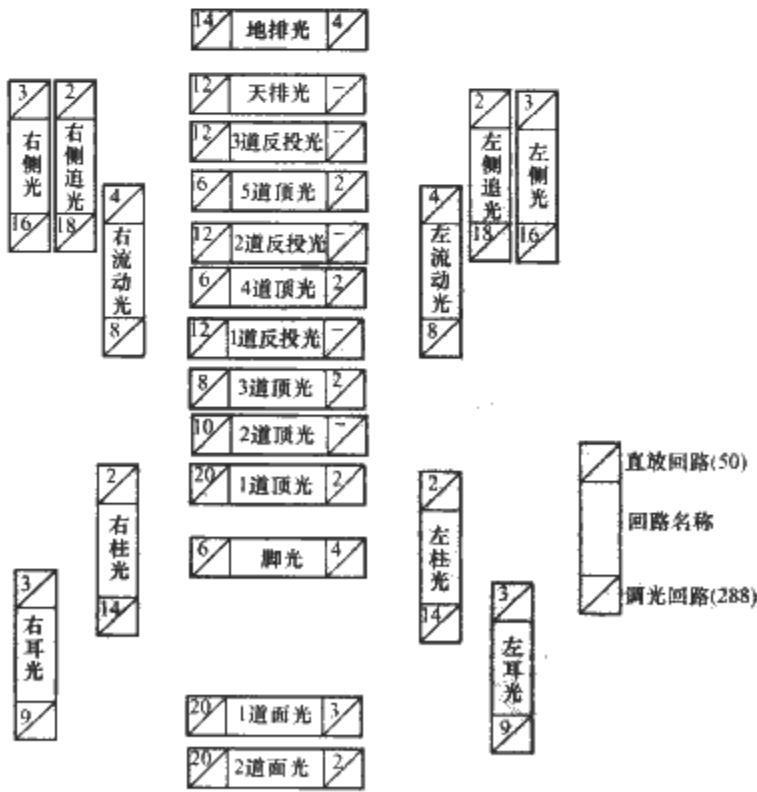


图 7.9-4 舞台照明回路



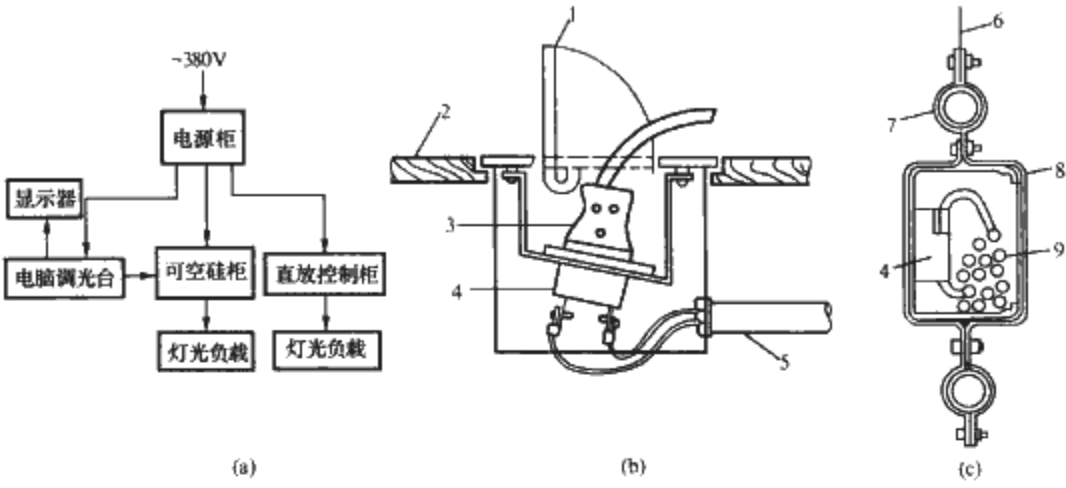


图 7.9-5 舞台调光  
(a) 原理框图；(b) 舞台地面插座安装；(c) 线槽内插座安装  
1—活动盖板；2—舞台面；3—插头；4—插座；5—电线管；  
6—吊杆；7—固定卡；8—线槽；9—导线

表 7.9-2 图例及说明

图 例	灯 具	容量 (kW)	图 例	灯 具	容量 (kW)
	电影回光灯	2		高效追光灯	2
	电影聚光灯	3		大夹灯	2
	电影聚光灯	2		天幕散光灯	1.25
	舞台聚光灯	2		八格条灯	0.1
	筒子灯	0.75		备用电源箱	380V、200A
	电脑追光灯	2		电动吊杆	400kg

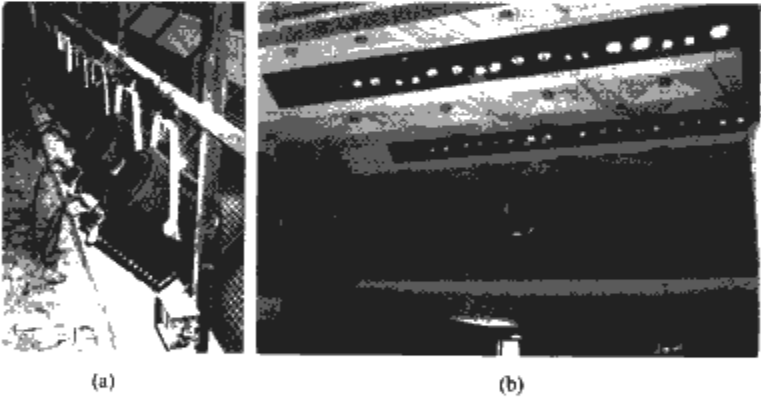


图 7.9-6 舞台照明 (1)  
(a) 面光桥；(b) 1、2 道面光

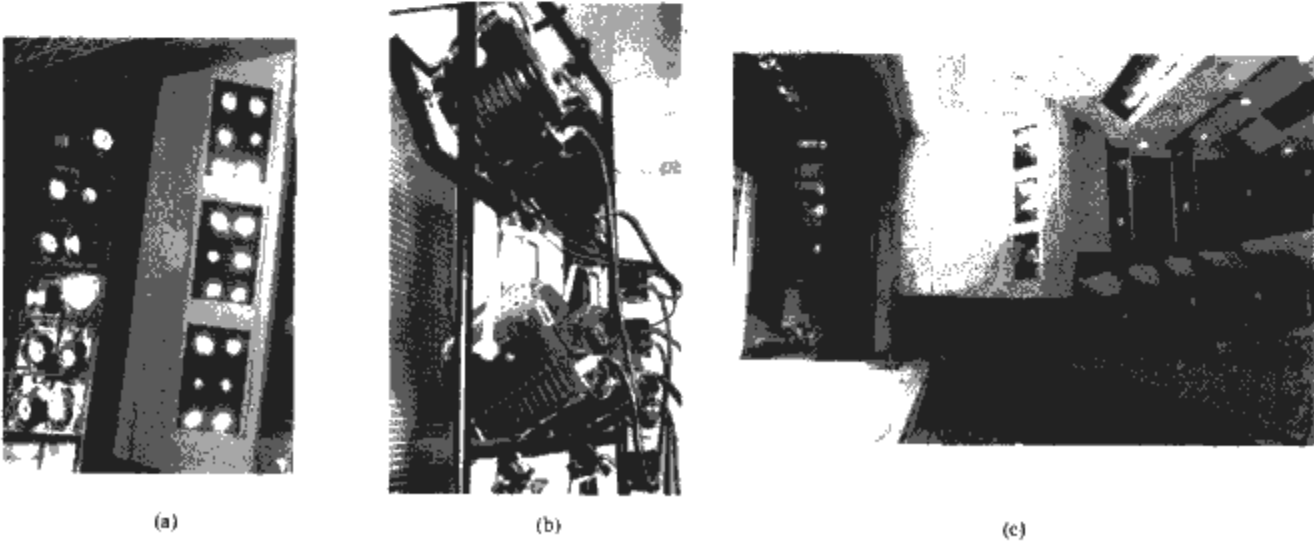


图 7.9-7 舞台照明 (2)  
(a) 左柱光、左耳光；(b) 左耳光；(c) 右耳光

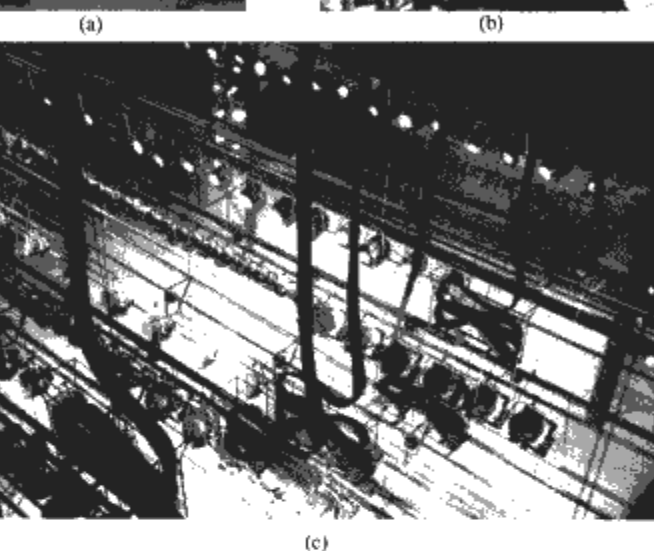
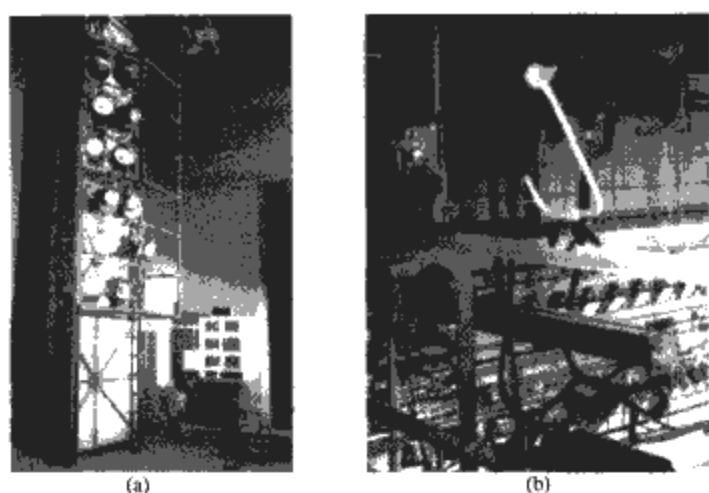


图 7.9-8 舞台照明 (3)

(a) 右投光; (b) 追光; (c) 1~4 道顶光、1 道反投光

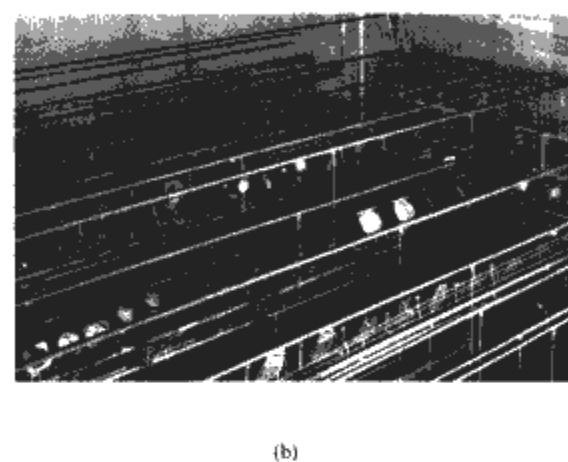
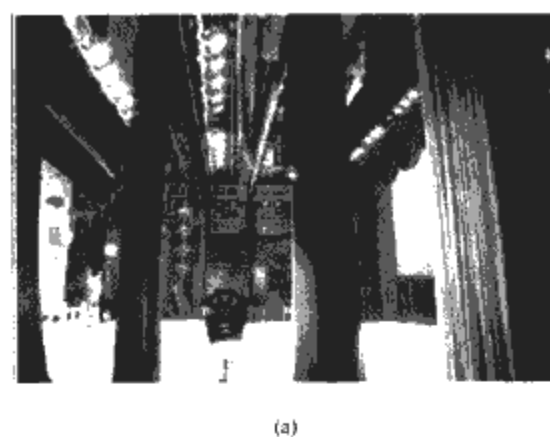


图 7.9-9 舞台照明 (4)

(a) 1~3 道顶光;  
(b) 4、5 道顶光

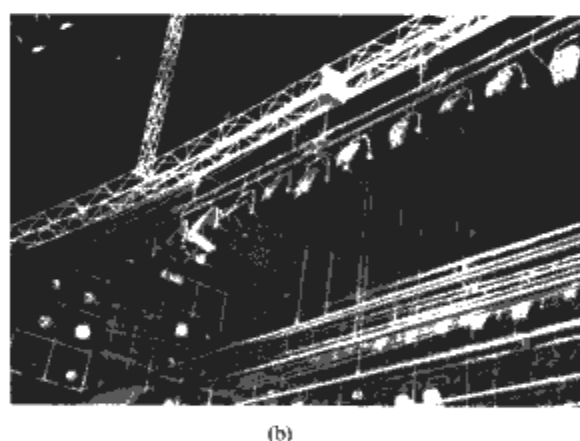
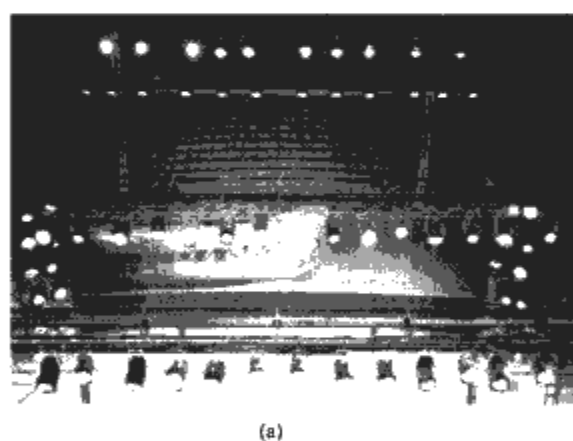


图 7.9-10 舞台照明 (5)

(a) 1、2 道面光, 1 道顶光、柱光;  
(b) 1~3 道顶光、右侧光

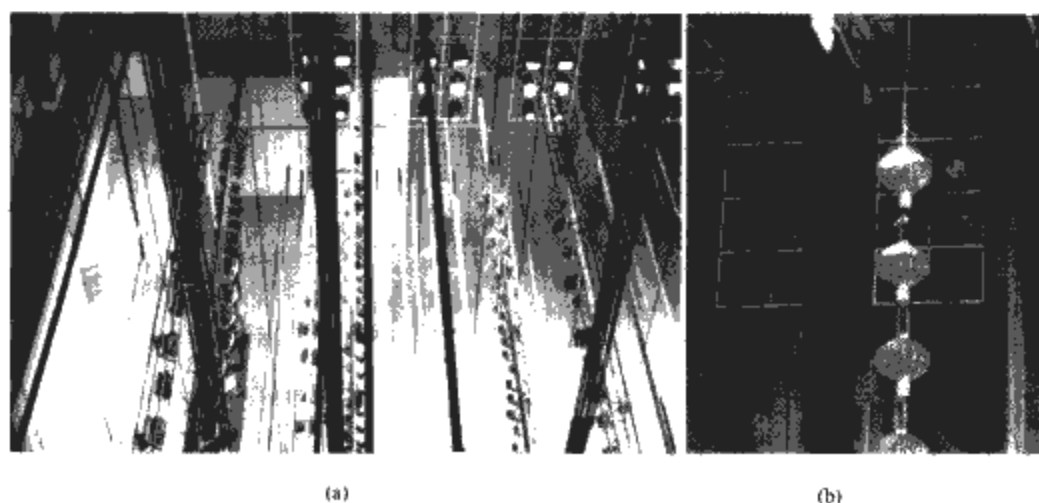


图 7.9-11 舞台照明 (6)

(a) 4、5 道顶光, 2、3 道反投光, 左侧光; (b) 右侧光

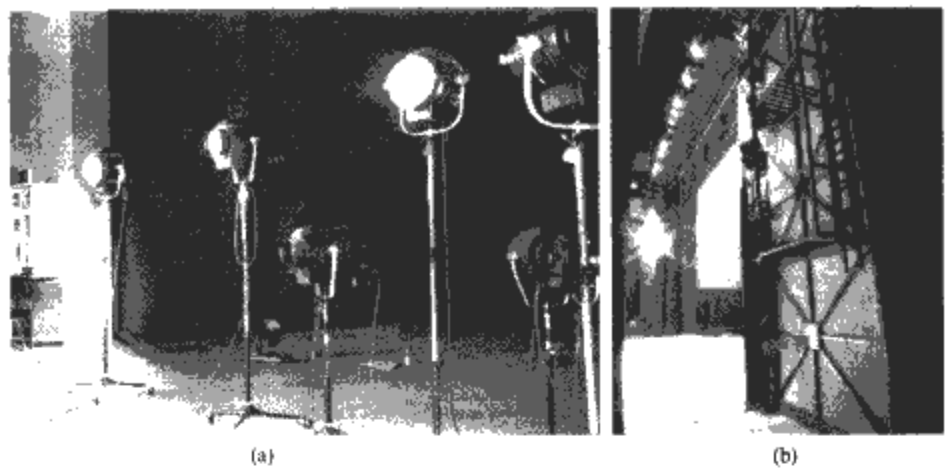


图 7.9-12 舞台照明 (7)  
(a) 右流动光; (b) 假台口

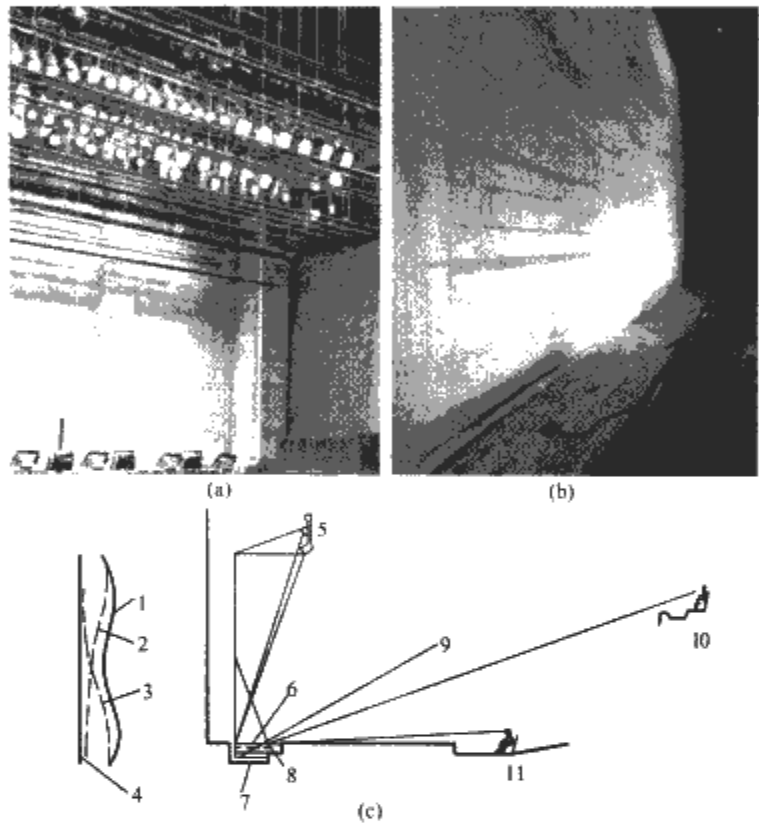


图 7.9-13 舞台照明 (8)  
(a) 顶光、反投光、天排光、地排光; (b) 地排光; (c) 天排光、地排光照明示意  
1—总照度; 2—上部照度; 3—下部照度; 4—天幕面照度; 5—天排光; 6—地槽;  
7—舞台面; 8—地排光; 9—最上层观众视界; 10—上层观众; 11—下层观众

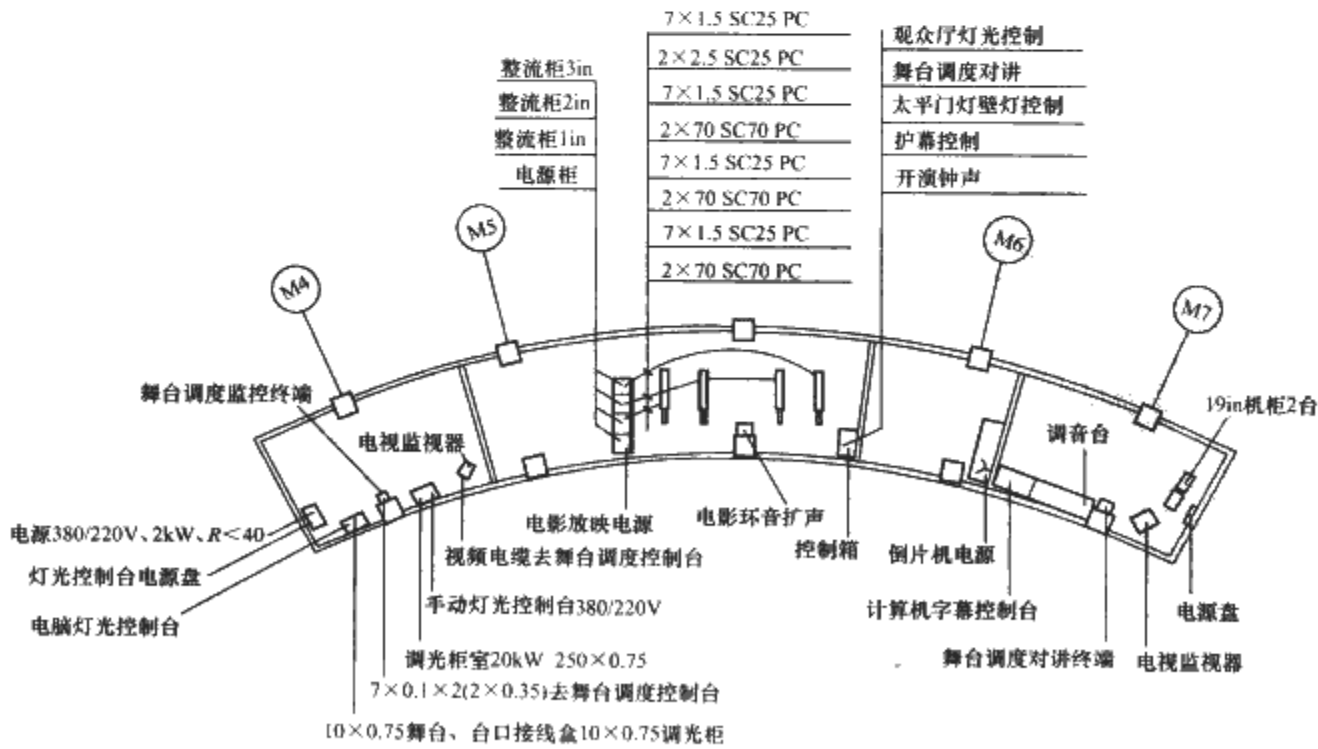


图 7.9-14 灯控室、放映室、音控室平面

注: 1in=2.54cm。

4.2 大型剧院

- 1) 声光控制室平面如图 7.9-14 所示。
- 2) 舞台、观众厅剖面如图 7.9-15 所示。

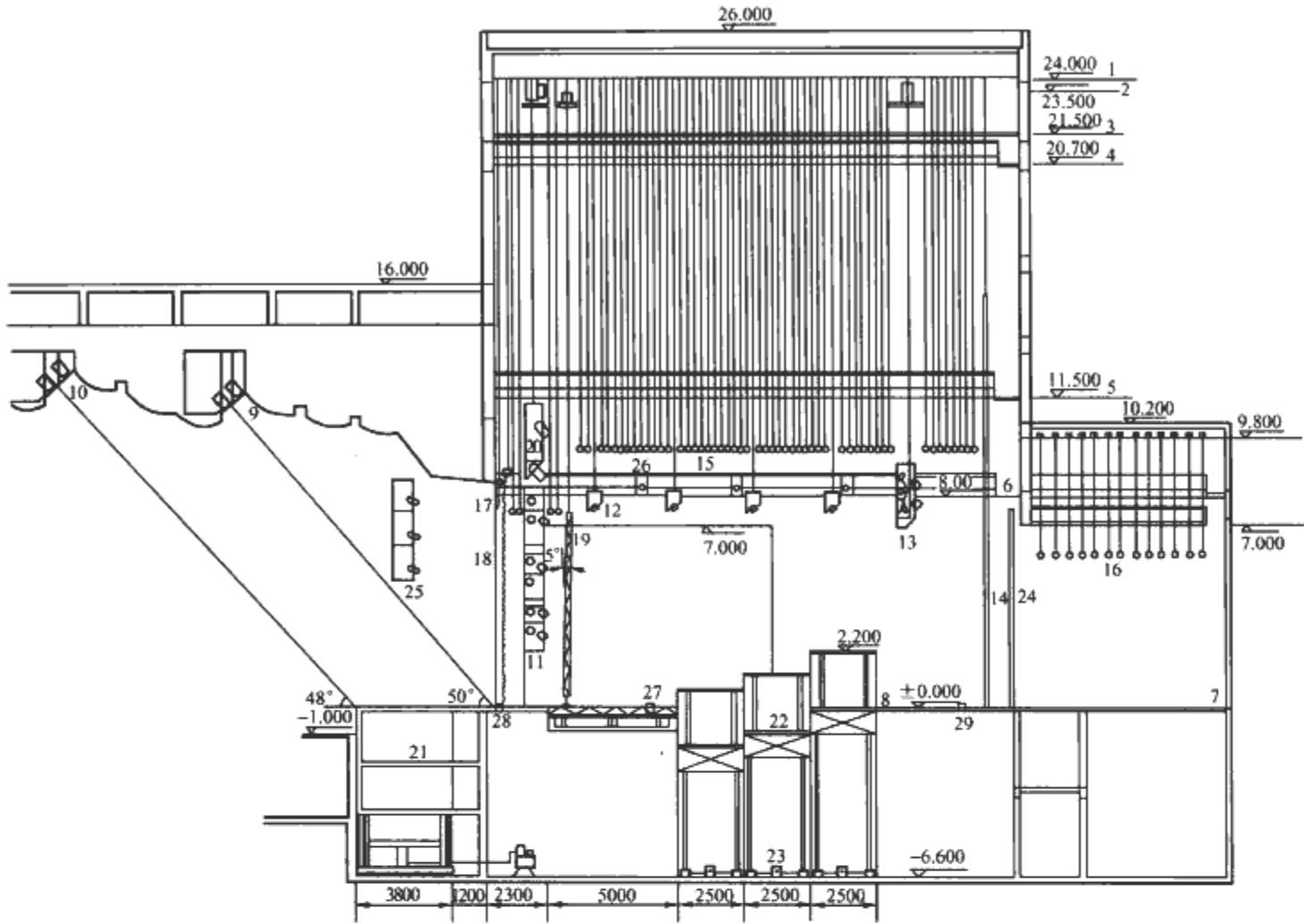


图 7.9-15 舞台、观众厅剖面

- 1—屋架下弦；2—滑轮架；3—葡萄架上；4—三层天桥；5—二层天桥；6—一层天桥；  
7—后舞台；8—前舞台；9—一道面光；10—二道面光；11—假台口；12—顶光；  
13—灯光渡桥；14—天幕；15—前舞台电动吊台；16—后舞台电动吊杆；17—檐幕；  
18—大幕；19—宽银幕；20—一顶吊桥；21—升降乐池；22—升降台；  
23—升降台电机；24—后舞台隔音幕；25—耳光；26—侧光；  
27—流动光；28—脚光；29—地排灯槽；30—车台

## 第10章 体育场馆照明

现代体育越来越显示出其在人类生活中的重要地位和作用。奥运会、洲际运动会、世界杯足球赛、各类世界锦标赛等重大国际体育比赛，其影响之广、牵动人心之深，现代社会还没有其他任何一种社会性活动能与之比拟。在中国，体育事业发展迅速，竞技体育取得了辉煌成就。随着生活水平的日趋提高，群众体育也不断发展，体育活动成为“科学、健康、文明”的生活方式的一部分。

体育的内涵是丰富的，体现“更高、更快、更强”的奥林匹克精神的竞技体育，有观赏性且能创造票房价值的市场体育，以及健身强体的群众体育，这三部分组成的体育产业在目前整个经济社会中商机无限。而所有的体育运动及体育产业，均离不开体育建筑，更离不开体育照明。

对一座现代化的体育建筑来说，不但要求建筑形体美观大方、各种体育设施完善，而且要求有愉快的照明环境。良好的体育照明不仅可以为现场的运动员、裁判、观众提供舒适的视觉环境，更可以为电视转播提供最佳的转播效果，让体育走进千家万户，促进体育运动的发展和普及，同时使体育产业更加兴旺。

### 1 体育照明的历史

体育照明的发展与照明光源的发展有着密切的联系，由于光源功率和发光效能的限制，体育照明真正开始是在第二次世界大战后，1949年在查乐利体育场（Charleroi Stadium）首次安装了56个125W的高压汞灯，它们被安装在14个灯杆上，但平均照度仅为6~30lx；1952年奥斯陆体育场（Olympics OSLO）在20根灯杆上共安装了240套1500W的卤钨灯，平均照度提高到150lx；1966年蒙城蓝体育场（Monchengladbach Stadium）在4根灯杆上共安装了48套10000W的卤钨灯，平均照度提高到440lx；而1988年的飞利浦体育场（PSV Stadium）在4根灯杆及挑蓬马道上共安装了220套1800W的金属卤化物灯，平均照度达到1650lx；2002年韩日世界杯足球赛开幕式场地韩国汉城上岩体育场（Seoul Stadium）共安装304套2000W的金属卤化物灯，平均水平照度达到2550lx。除了平均水平照度以外，其他照明参数在不断改进，从最初的无垂直照度要求到今天逐渐成为主流的高清晰度电视（HDTV）的2000lx的垂直照度，光源光效从10~20lm/W提高到目前常用的金属卤化物光源的100lm/W，灯具更是从简单的灯座发展到今天小巧、坚固、高效的大功率专用体育照明投光灯具。电子技术的发展也使体育照明的控制系统更加灵活方便、智能化。由此可见，整个体育照明的历史与光源、灯具、照明系统的发展以及其他电子技术的发展密不可分。

随着照明产品及其他技术如电视转播的进一步发展，体育照明也将不断有新的发展，不断满足新的需要。

### 2 体育照明的对象及场馆、比赛分类

#### 2.1 照明对象

在进行体育照明设计时，必须全面考虑以下4组对象的

照明需求。

1) 运动员、裁判、现场官员。良好的体育照明应该使运动员、裁判、现场官员在比赛场地上清楚地看清场内所发生的事，并在最短时间内作出最佳的反应，以保证运动的高水平进行。

2) 观众。体育比赛时现场观众应在和谐愉快的气氛中观看运动员的表现及比赛过程，同时看清场地周围的环境及座位四周的场景，还应可以安全、轻松进场或退场。在大型运动场地中，观众的安全极为重要，需严格考虑观众席的安全照明。

3) 电视转播摄像机及照相机。对电视转播摄像机及照相机，照明应为良好的画面质量提供合格的照明条件。这些画面包括现场比赛观众席、官员席等。

4) 广告商及媒体。合格的体育照明必须对场地周围的广告牌提供极好的照明，以便使观众及电视摄像机清楚看清广告牌上的信息，帮助广告商将广告信息以最佳、最快、最清晰的方式传播出去，以带来最佳的经济收益。

#### 2.2 场馆分类

目前有众多的体育场馆，但不同的体育场馆对照明的要求也完全不同。大部分的体育场馆都会进行多种不同类型的体育运动，应根据场馆的使用功能的不同提供不同的体育照明。

1) 训练场馆。训练场馆体积相对较小，无观众席，但可以进行多种体育训练，如各种球类、有氧操、健身等，以娱乐休闲为主。

2) 专业体育场馆。专业体育场馆体积不大，有观众席，可以进行某几项专业比赛，如射击、游泳等，照明要求的种类较单一，但有时照明要求很高。

3) 小型多功能体育场馆。小型多功能体育场馆有少量观众席，可以进行多种体育活动，照明要求并不高，但照明种类较繁多，如学校体育场馆。

4) 大型多功能体育馆。大型多功能体育馆可以进行大部分的室内运动及其他文艺活动，场地尺寸大于50m×50m，有许多观众席位（10000个以上），可以进行电视转播，照明要求高，且种类复杂。除体育照明外，还应考虑平时的集会或会展照明。

5) 大型体育场。大型体育场有可以容纳几万人的观众席，观众观看距离远，可以进行足球、曲棍球、棒球、田径等大型体育运动及大型运动会的开、闭幕式，照明要求高，种类复杂，通常需要设计电视转播的照明。

#### 2.3 运动级别

在不同的场馆中，对不同的运动级别有不同的照明要求，目前常见的运动级别如下：

- 1) 娱乐活动。
- 2) 业余水平：
  - ①业余训练，包括体能训练。
  - ②非比赛的活动。

- ③国内比赛。
- 3) 专业水平:
  - ①专业训练, 包括体能训练。
  - ②国内比赛。
  - ③带电视转播的国内/国际比赛。

### 3 体育运动的分类

基于对照明的要求, 体育运动可以分为两类: 以空中运动为主的体育运动及以地面运动为主的体育运动, 在这两类运动中, 又可以分为多向运动和单向运动。

#### 3.1 空中运动

空中运动是指运动对象除在地面运动外, 还会在空中飞行。

1) 多向空中运动。运动员和观众会从多个方向及位置观看运动物体, 此时照明的垂直照度往往比水平照度更为重要, 同时应严格控制眩光, 将灯具布置于常用观察方向以外。典型的多向空中运动有羽毛球、棒球、篮球、足球、手球、壁球、网球和排球。

2) 单向空中运动。运动员和观众从地面的固定点观看物体, 此时在起点需要较多考虑水平照度, 而在终点要求足够的垂直照度, 在起点的灯具以向下照射为主, 而终点则以高角度照射。典型的单向空中运动有高尔夫、双向飞碟、高山滑雪等。

#### 3.2 地面运动

地面运动是指运动始终在地面或离地不高的空间内进行, 运动员和观众在正常情况下不会向上看。

1) 多向地面运动。运动员和观众从多个方向观看运动, 通常只往下看或水平观察, 要求有均匀度较好的水平照度, 同时还应有必要的垂直照度。典型的运动有拳击、冰球、曲棍球、滑冰、游泳、跳水及摔跤。

2) 单向地面运动。观察目标通常在靠近地面的垂直面上。此时应重点考虑垂直面的照度, 可通过灯具的投射方向满足照明, 同时在起点处保证运动员及观众视觉舒适。典型的运动包括射箭、保龄球、手枪慢射。

针对以上两种类型的运动, 又有两个因素决定照明的需求, 即运动物体的视觉尺寸大小及速度。视觉大小取决于物体的物理尺寸及观看距离, 而速度则取决于物体的绝对速度及相对于运动员、观众的方向, 如果运动物体的速度提高、尺寸变小, 则照明要求更高。对运动员而言, 不同的运动有其不同的主要观察方向, 如网球的主观察方向是纵向的, 这些主观察方向将直接影响灯具的布置。因此在进行灯具布置前, 应认真考虑这些因素。

### 4 体育照明的要求

体育照明的目的是通过对运动物体及周围环境的亮度控制, 提供一种舒适的照明环境, 使运动员、观众及电视摄像机、照相机能够清晰地捕捉到目标, 因此将有许多量化和非量化的要求。

#### 4.1 照度

体育照明最基本的要求是给运动员、观众、电视摄像机、照相机提供令人满意的照度水平, 由于对电视摄像机、照相机照明的要求已超出对运动本身和观众席的要求, 因此在设计初就应了解清楚照度的要求。照度决定于运动的速

度、运动物体的视觉大小、运动员的竞技水平、运动员的年龄、电视转播要求。

##### (1) 水平照度

体育照明的水平照度值通常指在场地地面上或场地上高1m处水平平面上的水平照度。对大多数空中运动, 运动并不仅仅局限于地面上, 因此水平照度不是唯一重要的照明指标。相对而言, 水平照度比垂直照度简单, 容易计算。

##### (2) 垂直照度

对观察垂直面上的物体来说, 垂直照度是必需的, 观众观看运动员比赛时是以某一垂直面的垂直照度为基础的, 运动员周身的照明环境可以模拟为4个相互垂直的垂直面, 如图7.10-1所示。垂直照度用来衡量这几个垂直面上的照明水平, 垂直照度对电视转播或照相的质量有着决定性的作用。

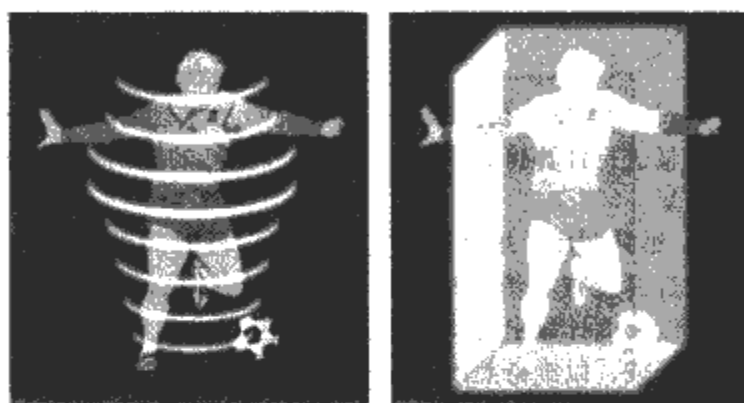


图 7.10-1 运动员的周身照明环境

垂直照度是一个矢量, 不仅有大小, 也有方向 (见图7.10-2), 通常用离地面1.5m处的垂直照度作为要求。对运动员, 各个方向的垂直照度均有要求; 而对电视转播时的固定摄像机或照相机, 则要满足垂直于摄像机平面上的垂直照度要求, 如图7.10-3所示。如果无固定摄像机, 则要考虑面向四边的垂直面的垂直照度, 如图7.10-4所示。对有电视转播要求的体育照明, 垂直照度是照明设计的主要衡量指标。

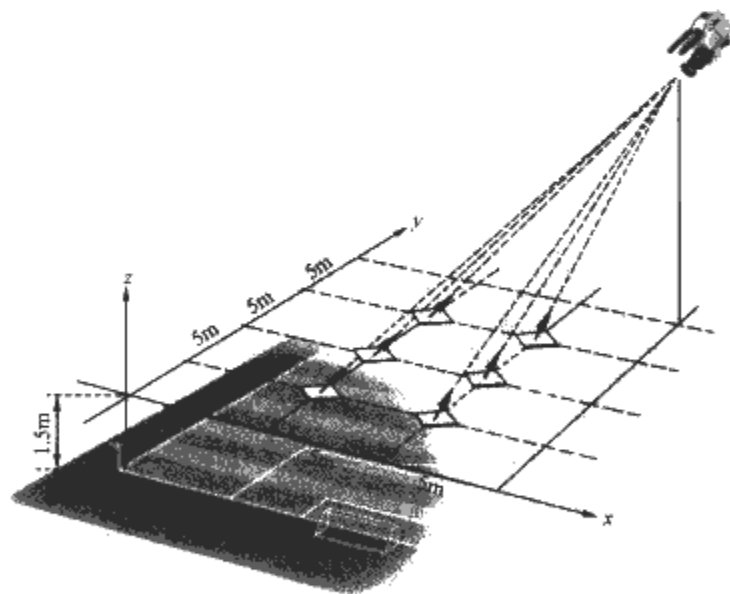


图 7.10-2 1.5m处对摄像机的垂直照度

除满足电视转播的要求外, 垂直照度还应让运动员、裁判、观众看清运动物体或球在场地上空一定高度的飞行轨迹。作为转播画面的背景, 观众席也应有一定的垂直照度, 以维持一定的亮度对比而达到最佳的转播效果。

对水平照度和垂直照度, 还应考虑以下两个不同的数值:



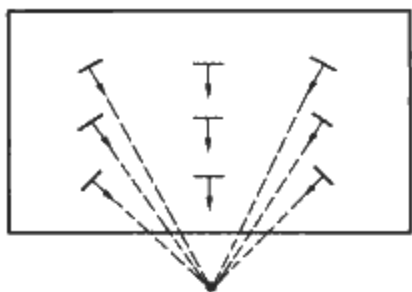


图 7.10-3 对固定摄像机的垂直照度

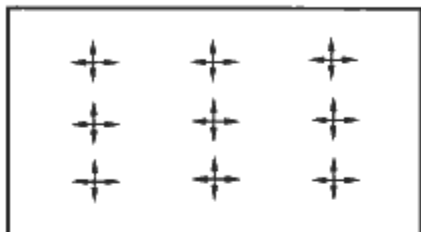


图 7.10-4 对不固定摄像机的垂直照度

1) 初始照度。初始照度是指以照明光源老化 100h 后光源光通量进行计算得到的照度，或是在全新的照明系统下的测量结果。

2) 维持照度。维持照度是指经过一段时间，光源、镇流器、灯具衰减或清扫后的照度。根据清扫周期或衰减系数，可以大概计算出维持照度。在照明设计时，应考虑照明系统的衰减，以维持照度为标准，通常在体育照明中照明设计的维护系数取 0.8。

在电视转播时，为得到理想的视觉环境，水平照度与垂直照度之间应有较好的平衡，平均水平照度  $E_{\text{hor}}$  与平均垂直照度  $E_{\text{ver}}$  的比值应为 0.5~2。

#### 4.2 照度均匀度

照度均匀度是为了表示场地内各点照度值间的关系。良好的照度均匀度可以避免太强烈的明暗对比及视觉暗斑，解决摄像机的灵敏度问题，尤其是对于速度快、场地大的运动，如足球、冰球、网球等。均匀性差会造成场地内的阴影及黑斑，影响运动员对物体的位置及速度的判断，从而影响比赛。照度均匀度目前有以下几种方法表示：

1) 最小照度与最大照度之比

$$U_1 = \frac{\text{最小照度}}{\text{最大照度}}$$

最小照度与平均照度之比

$$U_2 = \frac{\text{最小照度}}{\text{平均照度}}$$

在体育照明标准中，对  $U_1$ 、 $U_2$  均有严格的要求，比赛级别越高，均匀度要求也越高。

2) 照度梯度 UG。在体育照明中，如果照度均匀度尚可接受，则可进一步考虑照度梯度。照度梯度是场地内照度的变化率，这个均匀度指标对速度快的运动尤为重要。场地内某一点的照度梯度用场地内此点的照度与此点周围 8 个网格点上的照度差别的百分比表示，也有的用与此点周围左右上下相邻的 4 个网格点上的照度差别的百分比表示。

在有些运动中，在不同区域会设计不同的照度。如棒球比赛，内场平均照度要求大于 1500lx，外场平均照度要求大于 1000lx，那么在内场与外场的相邻处，就应有合适的照度水平，以达到可接受的照度梯度 UG。

#### 4.3 照明的光源颜色特性

在体育照明中，人工光源的颜色特性起着决定性的作用，当然，也要考虑自然光对整个体育照明设计的影响。

光源的颜色特性有两个重要参数，这两个参数是光源的色温 ( $T_c$ ) 或相关色温 CCT (单位都是 K) 和光源的显色指数  $R_a$ ，它们均依赖于光源的光谱能量分布。

光源色温 ( $T_c$ ) 可表示为光源给人带来的色表感觉。自然白光 (色温为 4000K 左右) 类似早晨的阳光，给人以明亮自然的感觉，多用于室内体育馆照明；日光色白光 (色温为 5000K 以上)，类似中午的阳光，给人以明亮兴奋的感觉，多用于室外体育照明。

体育场馆照明的视觉环境取决于光源的显色指数  $R_a$ ， $R_a$  越高，照明后的环境与实际环境越相近，环境越舒适。对有电视转播要求的体育照明，为得到理想的画面质量，摄像机、照相机只能通过调节“白点设置”解决颜色偏差，但人眼无法调节，况且经调整后的画面质量也不可能是最好的，因此应选择合适的光源作为体育照明光源。

体育场馆照明的视觉环境取决于光源的显色指数  $R_a$ ， $R_a$  越高，照明后的环境与实际环境越相近，环境越舒适。对有电视转播要求的体育照明，为得到理想的画面质量，摄像机、照相机只能通过调节“白点设置”解决颜色偏差，但人眼无法调节，况且经调整后的画面质量也不可能是最好的，因此应选择合适的光源作为体育照明光源。

#### 4.4 眩光

眩光在体育照明中是一个特别重要的参数，眩光控制不佳，会导致运动员、观众严重的视觉困难，从而影响比赛。眩光可分为失能眩光和不舒适眩光，在体育照明中这些眩光均由灯具的直接眩光及环境的反射眩光造成。由于体育照明中使用大量中功率或大功率高强度气体放电 HID 投光灯具，而高强度气体放电 HID 光源本身放电管的发光亮度非常高，因此完全消除眩光是不可能的，但可以通过多种方式降低或减小眩光。

在实际的照明设计中，可以通过灯具的合理布置或自然光的合理利用降低直接眩光。如避免在篮球场篮筐上安装灯具，在排球场地的球网上空不安装高亮度灯具，避免在室内体育馆的篮球场及网球场的底线后墙上开设窗户，使自然光通过合适的方向进入场地。也可通过选择功率和配光合适的灯具，选择合理的灯具安装高度及位置、合理的灯具投射角度及瞄准点以降低眩光；灯具上安装格栅等挡光装置亦可降低灯具发光强度；对室内体育馆，保证在观众席、墙及屋顶上有足够的照度，可选择反射率合适的表面材料（一般天花板为 60%，墙为 30%~60%），为降低明亮的灯具与暗的天花板间的光度对比，天花板的反射率一定要高；当然也可以通过增加上射光的办法降低对比，以减小眩光。

#### 4.5 溢散光

灯具发出的光线应尽可能多地照明在场地地面上，由于灯具配光控制不严格或灯具投射瞄准点不合适，会有部分的光线照射到场地外，这部分光被称为溢散光，溢散光有时被称为光污染。溢散光可以分为两种：在场地内的溢散光和对场地外的溢散光。在场地内的溢散光主要洒向场地上空，这部分溢散光可以提高场地背景的亮度，降低画面上物体与背景的亮度对比，从而降低画面清晰度，使场地内像有“雾”一样；而对场地外的溢散光将影响体育场周围的居民及周边道路的交通，严重的会有部分灯光射向天空，成为真正的光污染，这部分溢散光是非常有害的，有时会造成重大损失。可以通过选择有效控制光束或截光型的灯具减小溢散光，并严格控制瞄准点。

#### 4.6 立体感和阴影

体育照明的立体感是照明表现物体三维空间的能力，多个方向的照明对立体感的提高有很大帮助。在电视转播中，立体感可以直接影响电视传播的画面质量。

在体育照明设计中,运动员和观众的可见度依赖于其所在点的水平照度和垂直照度,物体的立体感则与从不同方向照明得到的水平照度和垂直照度之比有关。场地内任何一点均可考虑相互垂直的4个表面,如图7.10-5所示。

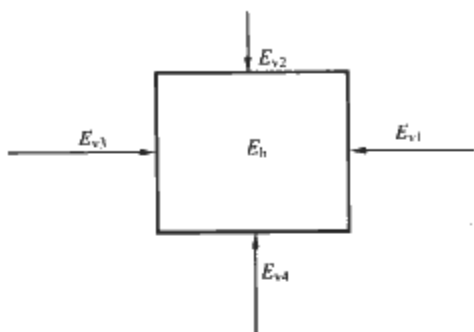


图 7.10-5 场地内某一点的垂直照度和水平照度

如果  $E_h$ 、 $E_{v1}$ 、 $E_{v2}$ 、 $E_{v3}$ 、 $E_{v4}$  大致相同,则被照明的运动员和物体的立体感会比较平淡,观看三维空间的物体比较困难;如果这5个值差别过大,立体感太强烈,这就会歪曲运动员或物体的视觉外观形象。一般说来,如果全场的平均水平照度  $E_{hav}$  小于4个垂直面上任一垂直照度平均值的2倍,则所产生的立体感是可以接受的。

由于在体育照明中大多采用紧凑型光源,灯具光强大、光线集中,灯具的布置会决定运动员在场地内阴影的强度及长度。尤其在四塔式布置的体育照明中,照明全部由安装于4个点上的灯具提供,因此阴影是不可避免的。为限制阴影的明显,缩短阴影的长度,在非对称布置的体育照明中,主摄像机侧布置的灯具数量应不小于全场灯具数量的50%或大于全场灯具数量的60%,而对侧的灯具布置应不大于全场灯具数量50%或小于全场灯具数量40%。

#### 4.7 频闪现象

由于光源的供电电压频率为50Hz,因此照明会造成频闪现象。在所有人造光源中,白炽灯的频闪现象最轻,而高压钠灯最严重。在所有高强度气体放电 HID 光源中,金属卤化物光源的频闪现象最轻微。在实际的照明设计中,可以将所有灯具均匀接到电源的三相电,并将各相位上的灯具瞄准点均匀分布在照明场地,以解决频闪。当然,随着电子技术的发展及对高强度气体放电 HID 光源放电机理的进一步研究,体育照明用高强度气体放电 HID 光源的高频电子镇流器的出现,将可从根本上解决频闪现象。

#### 4.8 灯具噪声

体育照明中另外一个需重点考虑的是灯具的噪声,许多镇流器及灯具都会发出噪声,安装不好也会造成噪声。由于目前还没有一个相关的标准,因此在照明设计时应尽量选择噪声小的照明系统,尤其是在室内体育馆。采用高频电子镇流器可以有效地减少噪声。

#### 4.9 照明控制

体育照明中使用的灯具数目众多,照明模式繁多,而且控制距离远,因此应该选择有效简便的照明控制系统,帮助实现开关功能及其他功能,如断电切换、断电保护、故障报警、手动/自动切换、开灯时间统计及计算机照明界面模拟等。

目前常用的体育照明智能控制系统分为管理控制级、现场控制级两个级别。

##### (1) 管理控制级要求实现的功能

1) 计算机仿真布灯位置界面。要求提供灯具控制回路与对应的安装位置参考信息;提供开灯模式(场景)预览和估计平均照度与负载功率;实时反映各个照明灯具的开、关或亮度状态;实时反映各个灯具的异常控制或故障状态;实时反映照明配电系统状态电气(各相电压、电流等)参数;提供多个控制区域仿真布灯位置界面的切换功能。

2) 系统管理与控制。要求提供灯具维护与统计资料参考信息;提供系统管理员与控制操作人员权限管理及控制;提供开灯模式(场景)新建、修改、删除等编辑功能;具有系统日志功能,提供系统操作值班记录;灵活配置常用开关模式(场景)快捷控制方案;灵活选择配置多个监控区域的仿真布灯位置界面;根据系统历史数据的有关信息作出分析判断,制成各种报表,以便管理。

3) 自动定时与照度控制功能。要求提供按多时间段、定时控制功能;按预存开灯模式(场景)程序组合开灯;按室外日照的变化与时间段组合逻辑开灯。

##### (2) 现场控制级要求实现功能

1) 灯具保护控制。要求提供灯具冷启动和灯具热态自动延时启动等保护功能,冷启动和热态关断技术可使灯具寿命延长2~4倍;提供电源电压浪涌限制,以避免电网冲击和浪涌电压。

2) 灯具状态参数检测。要求提供输出开关状态检测,负载回路检测,巡回监控照明系统故障情况。

3) 安全智能。要求当异常情况导致主照明高强度气体放电 HID 灯具全场熄灭时,自动启动应急照明系统。

##### (3) 整个智能照明控制系统的功能

1) 安全智能。体育场馆是大众聚集的公共活动场所,保障场地照明和观众席照明是绝对必要和重要的。智能照明控制系统首先要求的是安全保证,因此,将体育场馆的照明控制系统供电作为一类负荷,必须具备两路供电自动互相切换的功能。

2) 经济方便。要求智能照明控制方式实现照明配电与照明控制分离,所有管理控制设备都挂在一条弱电通信总线电缆上,与强电部分完全隔离,以实现操作人员的人身安全;同时,由于使用通信网络总线,免除了传统开关控制所需要的大量控制电缆和配管穿线施工,可节省工程费用。通过编程实现场景的预设置,控制操作时只需按一下控制面板上的某一键,即可启动一个灯光场景,并能实现多种控制功能,操作简便。

3) 环境保护和节约能源。体育照明智能控制方式要求按用户的实际需求开、关灯,有效节约能源,减少热污染和光污染,并能有效延长灯具的使用寿命。

4) 环境舒适性。体育照明智能控制方式要求实现多种场景控制,配合场馆群体活动的现场需求,营造出舒适的照明环境。

#### 4.10 天然采光

为了在照明工程中有效节约能源,在白天应尽可能多地利用洁净的自然光,尤其是室内体育馆,可通过开侧窗或顶窗的办法进行天然采光。室内体育馆的侧窗采光应严格考虑窗户是否会造成不必要的眩光,如果场地安排合适,侧窗一般开在南北向,以避免东西向早晚的斜入射光。如果采用天窗采纳自然光,除应考虑天窗的位置以外,还应考虑天窗的材质及透过率,尽量选用中性透过率的材料,以避免室内出现颜色过滤而使白天的室内环境出现明显的色温偏差。

4.11 照明设计及与建筑的协调

体育照明较其他照明复杂，要求繁多，对建筑的配合要求很高，因此应要求专业照明设计人员进行专业设计，并且在建筑设计阶段，就应尽早与建筑设计师、业主紧密配合，在安装高度、光污染、对周围环境的影响、安装的美观、安全及体育场馆的景观效果上充分考虑，以达到最佳的效果。

5 体育照明标准推荐

5.1 水平照度

目前有许多体育照明标准，表 7.10-1 为常用的体育运动的水平照度要求，该表中所示照度均为维持照度，维护系数一般为 0.8。

表 7.10-1 水平照度推荐（地面）			
运 动 项 目	训练/娱乐 (lx)	业余水平比赛 (lx)	专业水平比赛 (lx)
射箭—室内			
瞄准区	100	500	—
射靶区	300	500	—
射箭—室外			
瞄准区	50	100	—
射靶区	100	200	—
田径—室内	200	300	500
田径—室外	100	200	400
羽毛球	300	600	800
棒球—内场	150	300	750
棒球—外场	100	200	500
篮球—室内	300	400	600
篮球—室外	100	200	—
自行车—室内	200	300	500
自行车—室外	100	200	400
台球	500	500	500
长雪橇/短雪橇	150	150	300
保龄球—起点/球道	200	200	400
保龄球—球形滚座	300	300	500
板球场—内场	750	750	1500
板球场—外场	500	500	
飞镖	300	500	1000
击剑	300	600	800
足球—室内	300	400	600
足球—室外	100	200	500
体操	300	400	600
手球—室内	300	600	800
手球—室外	100	250	
赛马	200	200	500
柔道	300	400	600
长曲棍球	100	200	500
武术	500	1000	2000
滑旱冰	100	200	500
橄榄球	100	200	500

续表

运 动 项 目	训练/娱乐 (lx)	业余水平比赛 (lx)	专业水平比赛 (lx)
射击（气手枪/步枪）			
室内—射击线	200	400	—
室内—射击靶	500	1000	—
室外—射击线	100	200	—
室外—射击靶	200	400	—
花样滑冰—室内	300	600	800
花样滑冰—室外	100	250	—
速度滑冰—室内	200	300	500
速度滑冰—室外	100	200	400
速度滑雪	50	100	200
跳高滑雪—下滑区	100	200	200
跳高滑雪—着落区	200	400	400
壁球	600	750	1000
游泳—室内	200	300	500
游泳—室外	100	200	400
乒乓球	300	400	600
网球—室内 PPA	500	750	1000
网球—室内 TPA	400	600	800
网球—室外 PPA	250	500	750
网球—室外 TPA	200	400	600
排球—室内	300	400	600
排球—室外	100	200	500
蹦床	300	400	600
摔跤	300	400	600
举重	300	400	600

注 表中 PPA 表示网球场比赛区域，TPA 表示网球场全场区域。

5.2 垂直照度

垂直照度与主摄像机的位置密切相连，在普通的比赛中，除一些特别的运动，如射击、高尔夫等，大部分体育运动对垂直照度不作特殊要求。只有在做电视转播时，垂直照度才需特别考虑。

5.3 照度均匀度

表 7.10-2 中的照度均匀度要求可以通过选择合适的灯具及调整瞄准点得到。由于人眼对光没有像摄像机、照相机那样灵敏，因此在电视转播时，水平照度和垂直照度的均匀度要求较高。由于水平照度的均匀度对整个视觉范围的亮度对比起主要作用，因此水平照度的均匀度比垂直照度的要求高。

表 7.10-2 照度均匀度要求				
活 动 等 级	$U_1$ = 最小照度 / 最大照度		$U_2$ = 最小照度 / 平均照度	
	水平照度	垂直照度	水平照度	垂直照度
业余水平				
体能训练	0.3	—	0.5	—
娱乐，非比赛活动	0.4	—	0.6	—
国内比赛	0.5	—	0.7	—

续表

活动等级	$U_1$ = 最小照度/ 最大照度		$U_2$ = 最小照度/ 平均照度	
	水平照度	垂直照度	水平照度	垂直照度
专业水平				
体能训练	0.4	—	0.6	—
国内比赛	0.5	—	0.7	—
电视转播				
国内电视转播	0.5	0.3	0.7	0.5
国际电视转播	0.6	0.4	0.7	0.6
HDTV 高清晰度电视	0.7	0.6	0.8	0.7
应急电视	0.5	0.4	0.7	0.4

5.4 光源颜色温和显色指数

良好的光源色温和显色指数可以创造出舒适的气氛，不同的体育运动等级对照明光源显色指数的要求见表 7.10-3。

表 7.10-3 照明光源显色指数要求

活动等级	光源显色指数 $R_a$
业余水平	
训练	$\geq 20$
非比赛的活动	$\geq 20$ (65 更好)
国内比赛	$\geq 65$ (80 更好)
专业水平	
训练	$\geq 65$
国内比赛	$\geq 65$ (80 更好)
国际/国内电视转播	
电视转播	$\geq 65$ (室内 80 更好, 室外 90 更好)
HDTV 高清晰度电视	$\geq 90$ (室内 80 更好)
应急转播	$\geq 65$ (室内 80 更好, 室外 90 更好)

对于光源色温，如果无电视转播，则光源色温从 2000K 到 6000K 均可；但是当要求电视转播时，电视转播摄像机不可能满足光源从 2000K 到 6000K 的色温范围。对人工照明光源，通常要求  $T_c \geq 4000K$ ，这样可以非常自然地与自然光照明过渡到人工照明。

5.5 眩光

眩光是体育照明中一个非常关键的指标，体育照明中眩光程度取决于灯具的光强分布、灯具的瞄准点方向及数量、灯具布置和安装高度以及照明区域内的背景亮度。目前国际照明委员会 (CIE) 已经就室外体育场及室外区域照明的眩光作了统一的评价。在体育场中，由于观察者位置的不同及观察方向的不同，视觉内的眩光程度也是不一样的。当在体育场中安装点光源灯具时，对于给定的观察者位置和给定的观看方向（低于眼睛水平），其眩光程度取决于由灯具对人眼产生的等效光幕亮度 ( $L_{vl}$ ) 和观察者前方视觉环境所产生的等效光幕亮度  $L_{ve}$ 。眩光指数用 GR 表示，在第一章中已给出其计算公式，即

$$GR = 27 + 24 \lg(L_{vl}/L_{ve}^{0.9})$$

式中，灯具等效光幕亮度为  $L_{vl} = 10 \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\theta_i^2}$ ； $E_i$  为第  $i$  个灯具在观察者眼睛上的照度，为视线垂直面上的照度，lx； $\theta_i$  为观察者视线与第  $i$  个灯具入射在眼睛上的方向的夹角，°，

$1.5^\circ < \theta < 60^\circ$  时有效，如图 7.10-6 所示； $n$  为灯具总数。

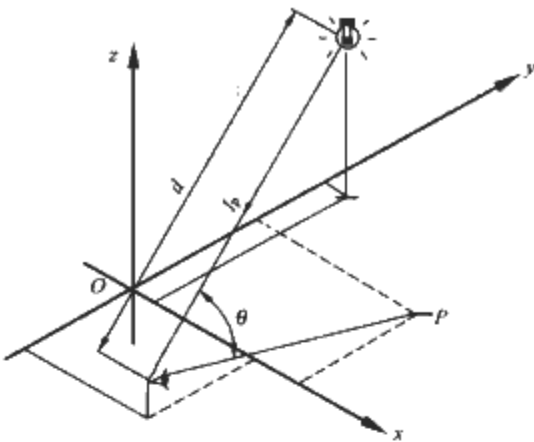


图 7.10-6 眩光计算示意图

环境等效光幕亮度  $L_{ve}$  同样可以用以上办法计算出，但为简化， $L_{ve}$  可近似由水平区域的平均亮度  $L_{av}$  得出，即

$$L_{ve} = 0.035 L_{av}$$

$$L_{av} = E_{hav} \rho$$

式中， $E_{hav}$  为场地内的平均水平照度； $\rho$  为场地的反射率。

从以上公式可以看出场地的反射比对眩光的计算结果有很大影响，反射率越高，环境光幕亮度  $L_{ve}$  越大，眩光越小，因此，在照明设计时，应该取合适的场地反射率，这样计算出的眩光指数 GR 才是可靠的。

眩光指数 GR 越低，说明眩光控制越好，亦有用眩光控制指标 GF 表示眩光

$$GF = 10 - GR/10$$

眩光评价标准见表 7.10-4。

表 7.10-4 眩光评价标准

GF	眩光程序	GR
1	不可忍受	90
2	—	80
3	干扰的	70
4	—	60
5	刚刚可接受的	50
6	—	40
7	可见的	30
8	—	20
9	看不见的	10

对体育照明，训练时要求最大眩光指数  $GR_{max} < 55$ ，比赛时要求最大眩光指数  $GR_{max} < 50$ 。

5.6 应急照明

体育场馆中的应急照明包括以下两种：应急安全照明及应急电视转播照明。

(1) 应急安全照明

体育场馆的观众席照明应始终能保证观众安全地进入或撤离，因此应采用独立回路供电观众席照明，一旦此回路供电失败，备用回路或发电机组立即切换过来，也可以用在线的不间断电源 UPS/EPS 提供短时间的供电。由于高强度气体放电 HID 光源的热启动困难，因此，此部分的应急安全照明通常用卤钨光源。为保证观众在供电失效时应急状态下的安全，看台上必须保证 25lx 以上的应急照明。

(2) 应急电视转播照明

体育场馆在进行重大比赛和活动时，要求不间断地连续

进行电视转播。因此,要求照明不能间断,即使有所降低,也要保证提供电视转播所需的最低主摄像机垂直照度,即应急电视转播照明。随着奥运会及各类重大赛事的举行,应急电视转播照明在体育照明中已越来越重要。

为满足应急电视转播照明,目前有以下几种办法:

1) 方法一:配备相互独立的两个或多个回路,主回路负责场地照明供电,另外的回路作为备用。如果主回路供电失败,则备用回路马上切换至工作状态,保证场地内的应急电视转播照明要求。但由于切换时间不可能太短,同时普通的高强度气体放电光源无法热启动,因此必须配备足够数量的带热启动装置的高强度气体放电灯具,这些灯具均匀分布,可以满足所需的应急电视转播照明要求。

目前成熟的热启动装置仅限于双端1000W/1800W/2000W金属卤化物光源,热触发脉冲电压高达50~60kV,对灯具及电器的绝缘要求非常高,且价格昂贵,需要增加额外投资,又有损光源的寿命,因此这不是一种理想的办法。

2) 方法二:配备相互独立的双回路供电,但两个供电回路同时工作,又互为备用。每个回路各负责全场1/2灯具的照明负载,且这一半的灯具可以均匀照明全场,满足应急电视转播要求。这样,不论哪一路供电出现故障,另外一路供电仍能为全场提供足够和均匀的照明,始终保持1/2的灯具工作而不产生漆黑一片的现象,使得现场比赛不受干扰并保证应急电视转播正常进行。

这种办法不需要热启动装置灯具,全场不会产生采用前述方法时产生的从主回路供电故障到灯具被热启动点亮之间的全场漆黑,经济、安全。但它对照明设计要求非常高,必须在满足全部照明要求的同时,再将全场灯具重新分配、供电,保证在任何一半灯具照明下全场的全部照明要求能够满足。目前这种办法较为常用。

3) 方法三:配备相互独立的多回路供电及发电机组或在线不间断电源UPS/EPS供电。根据方法二,在满足全场全部照明要求的前提下,将全场灯具分成两组,一组可满足应急电视转播要求,用发电机组或在线不间断电源UPS/EPS为其供电,保证其不间断;同时另外一组再由市内供电电网回路供电,其他独立回路作为备用。在主回路出现故障时,备用回路切换至工作状态,为另外一组灯具供电。也有用发电机组或在线不间断电源UPS/EPS为全场全部灯具供电的情况。目前这种办法可根本解决市内供电电网故障时的应急电视转播照明的问题。

## 6 体育场馆电视转播的照明要求

从1958年电视转播权写入奥林匹克宪章至今,奥运会的电视转播权价格越来越高,随着1964年东京奥运会首次向全世界直播以及1968年墨西哥奥运会开始的电视转播,电视转播的照明要求也越来越高。良好的电视转播效果不仅需要优良的电视转播设备,更需要专业的照明系统。

### 6.1 垂直照度

在体育照明中,垂直照度对电视转播及照相的质量起着决定性的作用,因此垂直照度是电视转播照明下的首要考虑对象。

电视转播图像技术质量与曝光时间、设备灵敏度、光源显色性及色温等因数有关,而曝光时间则与所选用的光圈大小有关。选定光圈时,必须按视野深度来决定,如运动速度快的网球、棒球、冰球等,要有较深的景深,所以必须选择小光圈,而照度要求也提高;当拍摄距离远时,需要采用长

焦镜头来增大视尺寸,但在变焦焦距较长时,一般光圈应较小,因此对远距离拍摄时,也需要高照度(见表7.10-5)。

国际照明委员会(CIE)将体育运动分成A、B、C三组,主要根据摄像机在拍摄时物体的动作速度区分。

1) A组:射箭、田径、台球、保龄球、苏格兰冰壶运动、标枪、跳水、马术、射击、游泳。

2) B组:羽毛球、棒球、排球、雪橇、足球、体操、手球、曲棍球、滑冰、柔道、草地网球、自行车、滑雪、垒球、速度滑冰、篮球、摔跤。

3) C组:拳击、板球、击剑、冰球、乒乓球。

同时根据现场最大拍摄距离又再细分为三组。

在表7.10-5中列出了国际照明委员会(CIE)推荐的不同运动不同拍摄距离的平均垂直照度(维持照度)。

表 7.10-5 电视转播时的照明要求

运动组别	最大拍摄距离 (m)	平均垂直照度 (lx)
A	25	500
	75	700
	150	1000
B	25	700
	75	1000
	150	1400
C	25	1000
	75	1400
	150	—

在体育照明中,垂直照度离不开摄像机的定位,不同的运动有相应不同的主摄像机位置。照明灯具的布置应随主摄像机位置的变化而完全不同,因此应先确定主摄像机位置,再决定照明灯具的布置。如在进行足球、篮球、排球、手球比赛时,主摄像机应放置在中线的延长线上;在进行网球、羽毛球比赛时,主摄像机应放置在底线后侧;在进行乒乓球比赛时,主摄像机应放置在场地的对角线上;在进行举重、健美比赛时,主摄像机应放置在运动员的前方;而在进行体操比赛时,则无固定的摄像机位置。目前,随着高清晰度电视HDTV的出现,对垂直照度的要求也越来越高,现已要求对主摄像机的垂直照度大于2000lx。

### 6.2 照度均匀度

电视转播时对照度均匀度的要求较高,国际照明委员会(CIE)要求如下:对水平照度均匀度,最小照度:最大照度大于0.5;对垂直照度均匀度,最小照度:最大照度大于0.4;

同时,平均水平照度:平均垂直照度=0.5~2.0。

为保证相邻点的照度的均匀,场地内某一点的水平照度、垂直照度与周围相邻8个网格点上的照度变化率,即照度梯度应小于20%。

进行电视转播时更要求有良好的照明立体感。为得到良好的照明立体感,场地内某一点4个方向上的最小垂直照度与最大垂直照度的比值应在0.4~0.8之间。

### 6.3 光源色温及显色性

当室内体育馆带有天然采光,开启人工照明时,照明光源的色温应在8000K以上;而随着电视转播的进一步发展,5500K的色温更为摄像者所接受。显色性Ra的最低要求为



65,才能保证电视转播画面与现场效果的一致性。目前室外体育照明光源的显色性  $R_a > 90$ ,室内体育馆照明光源的显色性  $R_a > 80$  已被国际电视转播照明系统所普遍接受。

#### 6.4 眩光

体育照明不可以对运动员、观众或官员产生不能接受的眩光。此外,进行电视转播时,对于所有摄像机,眩光的图像量、镜头反射光斑应减到最小。

对电视转播的照明系统来说,要求对场地内任一观察者、任一观察点的最大眩光指数均不可大于50,即最大眩光指数  $GR_{max} < 50$ 。

为减小眩光,提高环境亮度,同时提高转播效果,在电视转播时观众席上的平均垂直照度应为场地平均垂直照度的15%~25%。

### 7 体育照明设计的基本考虑

#### 7.1 照明光源的选择

体育照明的光源选择与其他照明一样,可以从光源显色性  $R_a$ 、光源色温  $T_c$ 、光源光效、寿命等方面考虑选择光源。目前体育照明中常用的光源为直管型荧光灯、金属卤化物灯、高压汞灯或高压钠灯。

直管型荧光灯光效已达100lm/W,光源的显色性  $R_a$  及色温  $T_c$  范围极广,  $R_a$  可从50~90以上,色温可从2700~6000K以上,但由于其光源体积大,表面亮度低,不适合远距离投光照明,目前常用在小型室内训练馆中。

用于体育照明中的金属卤化物光源的光效可达110lm/W以上,色温从4500~6000K,显色性从65~90以上,最大功率可达2kW,而且体积小,光输出流明值大,非常适合各类体育照明及电视转播要求。尽管国际照明委员会(CIE)对体育照明光源色温的要求很宽,但随着电视转播要求的日益提高,目前国际上普遍接受  $R_a > 90$ 、 $T_c = 5600K$ ,或  $R_a > 80$ 、 $T_c = 4200K$  的双端金属卤化物光源作为电视转播照明,功率有1000W、1800W、2000W三种。图7.10-7为常用的金属卤化物光源。

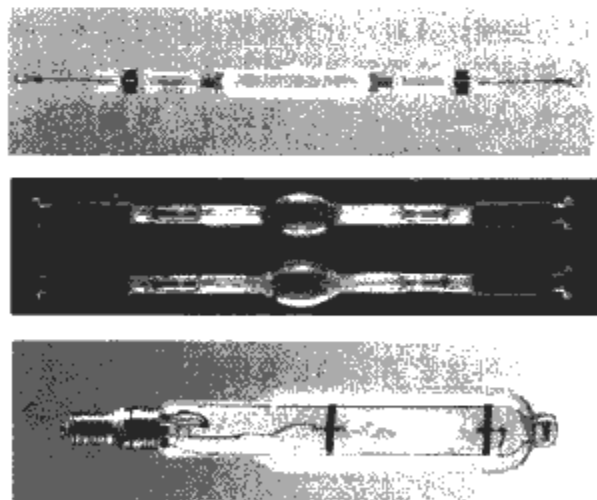


图 7.10-7 体育照明用金属卤化物光源

高压汞灯及高压钠灯由于其不理想的色温及较差的显色性,在体育照明中已越来越少使用,而高压钠灯与高压汞灯的混光照明,尽管会提高稍许的显色指数,但显色性、光效、色温及寿命等仍不能令人满意,基本已无人使用。在体育场馆照明中,有时会使用舒适型高压钠灯,其光源显色指数  $R_a > 65$ 。

在光源选择时,还应考虑光源的颜色偏移。当许多光源

被安装在同一个场馆时,这些光源间的颜色偏差应最小,尤其是金属卤化物光源。

#### 7.2 照明灯具的选择

灯具的发展离不开光源的推动,大功率汞灯和长弧氙灯的出现促进了体育场照明用投光灯具的发展。早期用钢板或铝板做外壳制成灯具;20世纪70年代末出现了铝压铸外壳方形投光灯及减少眩光的非对称柱面反射器投光灯;20世纪90年代随着紧凑型金属卤化物光源的出现,紧凑型大功率投光灯开始出现在体育照明中,并立刻占据了主导地位。

现代体育照明对灯具的要求如下:

1) 灯具外形小型化。由于体育建筑的功能日益丰富,各种设备越来越拥挤,留给照明灯具的空间越来越小;同时建筑师们希望灯具的尺寸不要影响体育场整体的美观,因此希望灯具外形小型化,从而使灯具的布置更方便灵活,而光源的小型化完全反映在了灯具上。在大型专业体育场馆中,越来越少见到外形很大的灯具,如图7.10-8所示。

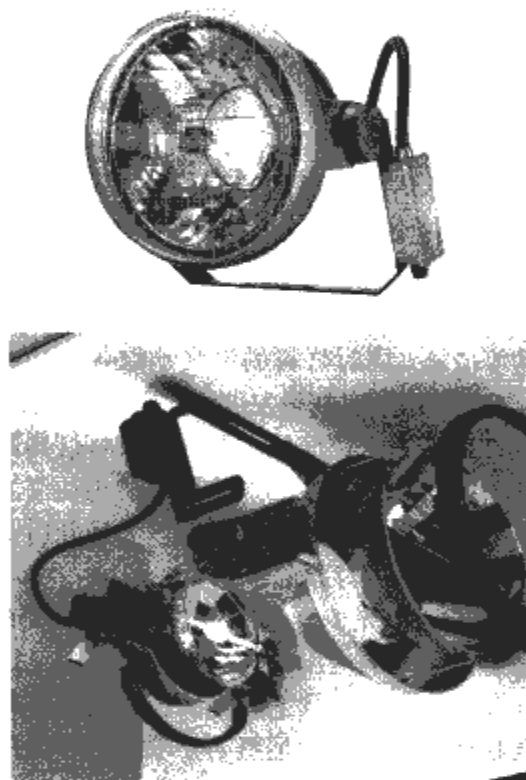


图 7.10-8 小型化体育照明灯具

2) 灯具功率及配光曲线。体育场馆用灯具的功率大都在1000~2000W之间,体育馆照明以1000W以下光源为主,体育场以2000W或1800W为主。由于体育照明有较强的均匀性要求,并且要求灵活方便的开灯方式,因此不希望有比2000W功率大许多的新光源出现。

配光曲线的要求对灯具而言是最基本的,由于体育照明设计的复杂性,现代体育照明用灯具常希望有多种配光、多种反射器供选择,以满足不同的场地条件。但宽、中光束配光灯具在大型体育场中是不适合的,无法达到均匀性的要求。

灯具的配光曲线和光输出比是灯具选择的首要考虑因素,尤其是作远距离投光照明的灯具。投光灯具中有方形灯具和圆形灯具,方形灯具(柱面反射器)又有对称和非对称配光,圆形灯具又有宽光束和窄光束。对方形灯具(柱面反射器),由于其中心光强较小,光束较宽,因此适合布置于场地边线,如图7.10-9所示。而圆形灯具(旋转对称反射器)的中心光强较大,光束较窄,因此较适合布置于投射距离更远的四角照明,或者场地非常大、投光距离非常远的边线照明,如图7.10-10所示。



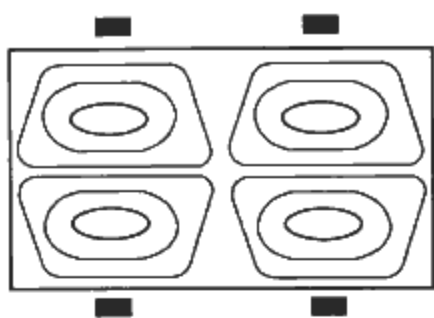


图 7.10-9 柱面反射器灯具适合边线安装

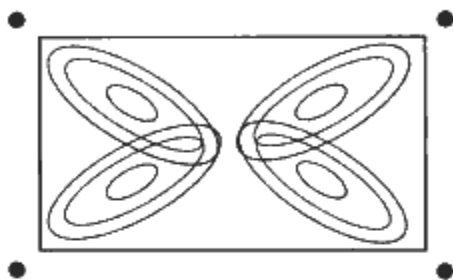


图 7.10-10 旋转反射器灯具  
适合四角安装

3) 灯具压铸铝外壳及高防尘防水 (IP) 等级。灯具本体趋于采用高纯铝和高压压铸工艺, 以延长光源和灯具的寿命, 同时防尘防水等级也提高到 IP65。

4) 灯具的安全性及维护。由于体育照明用灯具安装高度均很高, 而且体育场馆观众密集, 不允许任何潜在的危险因素, 因此, 现代体育照明灯具要求有诸如高强度安全玻璃、安全防护网等措施, 同时灯具的电气绝缘等级应在 I 级以上。对带热触发灯具, 由于有高触发电压, 因此更应注意绝缘。

灯具的维护应安全、简便, 并且不破坏灯具原有的瞄准位置。因此, 除对瞄准方向无严格要求的小功率灯具或荧光灯具, 所有被选择的体育照明灯具应该为后开启安装光源或维护, 以维持调试好的灯具瞄准角度。

5) 眩光小, 溢出光少。为提高电视转播画面的效果, 要求灯具在被照面以外的溢出光越少越好, 同时又可以减少对周围环境的光污染。而灯具上眩光的控制更是体育照明灯具的一项重要指标, 因此在满足照明要求时, 尽量用眩光控制更好的非对称灯具, 如图 7.10-11 所示。

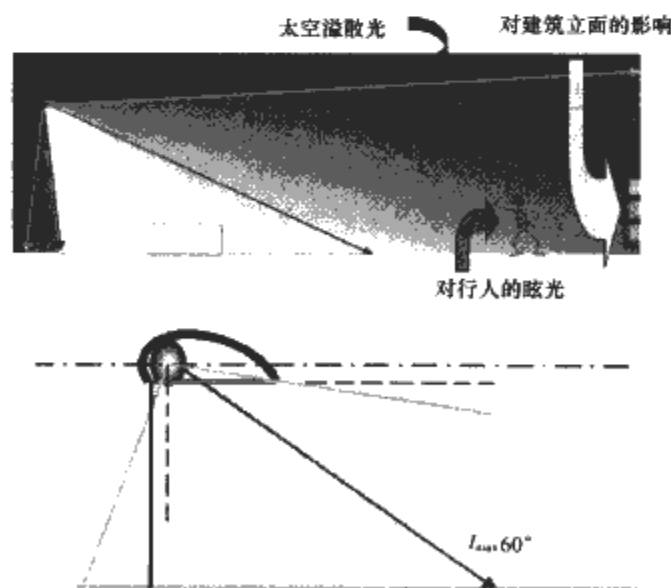


图 7.10-11 灯具溢散光的控制

6) 灯具应有准确瞄准功能设计。体育照明用灯具功率大、配光窄、照明设计复杂, 只有经过精确的灯具瞄准点调试后, 方可达到设计要求。为保证照明设计的效果, 在大型多功能体育场馆中灯具应具备有精确瞄准装置。对部分有特殊

要求的电视转播照明, 灯具应配有安全可靠的热启动装置。

### 7.3 照明电器的选择

照明电器包括镇流器、触发器、补偿电容, 所有照明电器的性能应与光源性能相匹配, 以保证最佳工作状态。由于镇流器及光源均会发热, 因此应保证镇流器及光源的热量不会相互影响。在体育照明中, 由于场地条件的限制, 灯具与照明电器的安装需要离开一定的距离, 此时一定要保证触发器可正常启动光源。这个距离依赖于所用的电缆及它的接地电容, 可以通过计算得到其理论值。

### 7.4 照明系统的选择

对于室外体育场, 直接照明是唯一的方法, 但要注意其对周围环境的影响, 尽量减小不必要的溢散光或眩光。

对于室内体育馆, 直接照明、直接/间接照明、间接照明三种照明方式均可使用, 但室内体育馆的照明设计有时要考虑到与建筑、结构、室内装修等的协调。在进行照明设计前, 必须非常清楚地了解整个建筑的结构及照明方式, 以及可能的灯具布置位置。

### 7.5 照明计算

由于体育照明中采用的灯具数目众多, 要求复杂, 因此一定要借助于计算机作辅助照明计算, 照明计算的基本步骤如下:

- 1) 根据运动种类、比赛级别、是否电视转播及建筑结构要求, 确定照明标准。
- 2) 确定主摄像机位置。
- 3) 确定安装位置及高度。
- 4) 选择光源及合适配光的灯具。
- 5) 决定计算区域及计算网格点。
- 6) 确定维护系数。
- 7) 用流明法简单计算需要的灯具数量。
- 8) 利用照明计算软件布置灯具瞄准点。
- 9) 利用照明计算软件计算有关数据。
- 10) 如对结果不满意, 调整灯具瞄准点, 重复以上步骤。

在进行照明计算时, 计算网格点取得越多, 间距越小, 计算结果越可信, 通常网格点间距取为: 灯具安装高度不高的小型场地, 1~2m; 足球、曲棍球、橄榄球场, 5~6m; 大型的田径场, 8~10m。

通常计算的水平照度为地面处的水平照度, 垂直照度为地面上 1.5m 处的垂直照度。

由于光源、灯具性能的稍微偏差及安装位置、瞄准点位置与计算条件的差异, 计算误差是不可避免的, 通常在安装很精确时, 仍可接受 10% 的计算误差。

对于室内体育馆, 大多数照明计算通常不考虑室内反射的影响。

## 8 多功能体育馆照明

由于多功能体育馆的建筑结构及高度、场地大小的不同, 想要建立一种标准的照明方案是不可能的, 这里所列的只是各种不同运动的各自的参数。任何一个多功能体育馆的照明设计都将考虑所适合的不同体育运动的要求, 并考虑其不同的运动等级。

### 8.1 多功能体育馆的照明光源及灯具

考虑到光源光色、色温、光效、寿命、安装高度、热启

动等因数,在多功能体育馆中如果灯具安装高度不超过 7m,则更多地使用直管型荧光灯,若灯具安装高度再提高,则应使用高强度气体放电光源。

在选择照明灯具时,除考虑灯具的配光及灯具效率外,还应考虑运动物体或球对灯具及灯具附件的冲击或损坏,另应充分考虑灯具的散热和美观。

通常在多功能体育馆中有三种类型灯具可供使用:

1) 对称配光的荧光灯具。灯具装有格栅或抗冲击的棱镜板,或金属保护网罩,这类灯具经常以连续光带的形式安装在场地上空,照度均匀度很好。

2) 非对称配光的荧光灯具。灯具通常为嵌入式安装,最大光束面向场地,适合不希望在场地上空安装灯具的多功能体育馆。灯具以光带形式安装在场地长边方向的两侧,提供场地照明,照明效果理想,眩光很小。

3) 配置高强度气体放电光源的投光灯具。这类灯具功率较高,可以减少灯具数量,但由于光源表面亮度的提高对空中运动的眩光稍大,因此可以使用对称或非对称配光灯具,并配有旋转对称反射器或柱面反射器。

## 8.2 多功能体育馆的照明方式

在多功能体育馆照明中,以上三类灯具的常用布置方式如下:

1) 满天星布置。照明灯具均匀布置于场地上空。这种方法的光线利用率高、节能、水平照度均匀度好、眩光小,但垂直照度低,一般适用于娱乐、训练等对垂直照度要求不高的活动。

2) 两侧或四周灯桥马道布置。灯具布置于边线两侧或场地四周上空的灯桥马道上。根据不同的要求及建筑特点,可以设计两条或多条马道,有时由于建筑限制,也可以设计垂直于边线的马道。这种布置方式容易满足垂直照度的要求,水平照度同样有较好的效果,并且立体感强、维护方便,较适合于有电视转播要求的照明,但相对而言眩光较大,稍有阴影,且外观较呆板。这种方式是目前最常用的要求电视转播的多功能体育馆照明布置方式。

3) 满天星与灯桥马道相结合布置。这种方法可同时满足美观、节能与垂直照度的要求,但对灯具安装节点要求较高。如果安装高度不高,这种方式不适合高级别的电视转播照明要求。目前有些学校体育馆采用此照明方式。

除以上三种直接照明方式外,有时还会用间接照明方式。通过间接照明,提高背景亮度,降低眩光,可以满足多个方向的垂直照度要求,达到理想的照明效果。但是这种照明方式的光线利用率低,不节能,运行成本高,因此只是有时在游泳馆照明中局部使用。

对于专业的多功能体育馆,如建筑条件允许,应尽量避免在比赛场地上空布置灯具,以减小运动员向上观察运动物体时的直接眩光。

在有自然采光的体育馆,为避免眩光,减小对比度,在室内体育馆设计时,不推荐在比赛场地上空设计沿边线方向的透明天窗。如果要开天窗,也只能以适应个别运动为原则,而且材料必须是漫透射的,同样也不推荐在场地的底线后设置采光窗。

由于多功能体育馆要举行除游泳等运动以外的所有运动,要创造一个标准的、符合所有各个体育运动要求的照明是不可能的。以下只是对特定条件的照明例子,给出光源、灯具、灯具布置的大致推荐。

室内多功能体育馆的照明设计基于场地的规模和比赛等

级要求,室内多功能体育馆根据比赛场地面积可分为三类:训练馆(场地面积小于  $250\text{m}^2$ ),体育馆(场地面积在  $250\sim 500\text{m}^2$ ),大型体育馆(场地面积大于  $500\text{m}^2$ )。

训练馆主要用于业余水平的运动和娱乐,灯具安装高度为 5.5m 左右,只能选用荧光灯具。图 7.10-12 (a)、(b) 分别列出了两种典型的照明方法,照明效果均匀,主要根据建筑结构决定是纵向安装还是横向安装;图 7.10-12 (c) 则表示用非对称配光荧光灯具的布置方式。

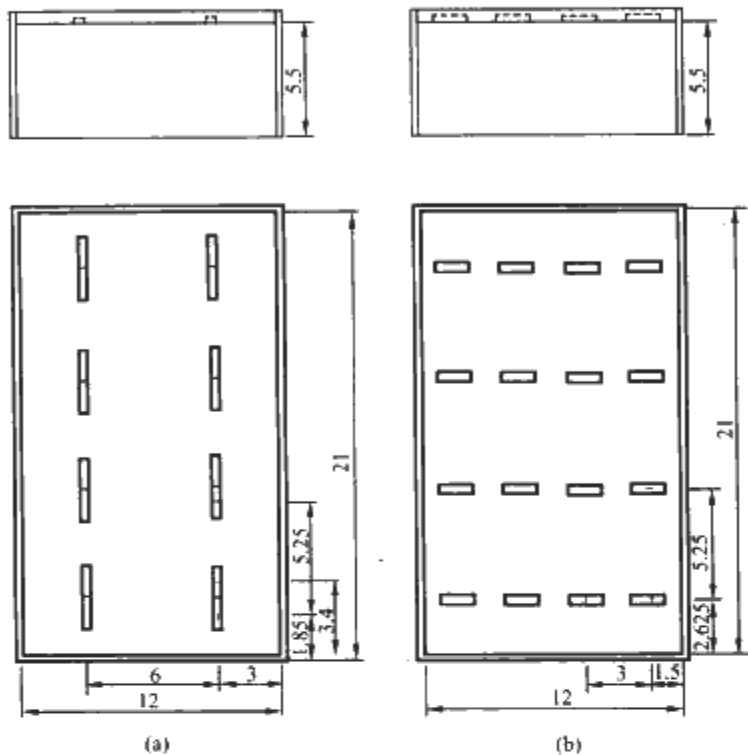


图 7.10-12 训练馆荧光灯具布置

(a) 纵向布置; (b) 横向布置

小型体育馆主要用于娱乐或业余水平的体育比赛,灯具安装高度通常在 7m 左右,篮球是其最基本的运动。图 7.10-13 给出了这种场地的典型照明方法,由于场地较宽,不适合再安装非对称配光的荧光灯具。

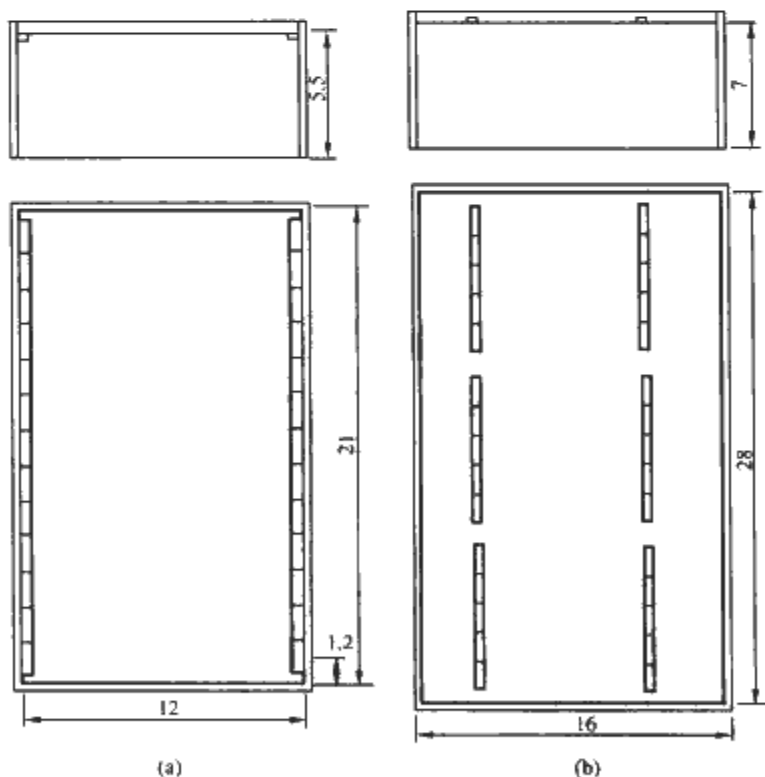


图 7.10-13 训练馆荧光灯具布置

(a) 纵向光带; (b) 纵向布置

大型体育馆可以举行专业水平或业余水平的比赛,灯具安装高度大于 7m,图 7.10-14 (a) 为一种荧光灯具的方案。

根据体育馆的容量和体育运动项目的不同，比赛场地的位置将随建筑物结构的变化而变化，如果采用配置高强度气体放电光源的灯具，那么金属卤化物灯具将是很好的选择，在今天的照明设计中，已不推荐使用混光照明。灯具的最后选择决定于运动员及观众的视觉舒适、初始投资及运行维护成本。图 7.10-14 (b)、(c) 是另外两种使用配置高强度气体放电光源灯具的方案。

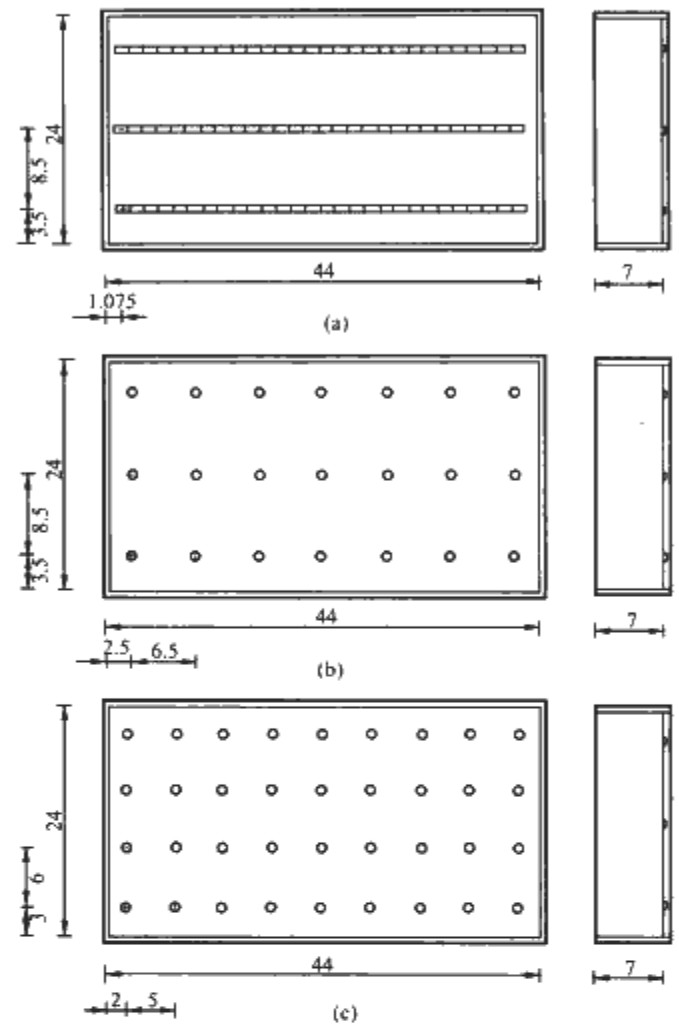


图 7.10-14 大型体育馆照明方案  
(a) 三排荧光灯具光带照明方案；(b) 配置高强度气体放电光源灯具满天星照明方案；(c) 配置高强度气体放电光源灯具高照度满天星照明方案

对于有电视转播的多功能大型体育馆，由于照明要求的进一步提高，只能根据运动项目、垂直照度、照度均匀度要求、不同运动的主摄像机位置以及建筑结构的特点、观众席的位置作专业的设计。此外，在进行照明设计时，应尽量与建筑相协调，以达到理想的科学与艺术相结合的照明效果。

应急安全照明及应急电视转播的要求可参见上节。  
对大型综合性多功能体育馆，需要通过照明开关模式来满足各个运动的照明要求，以下为典型的开关模式：

- 1) 观众进退场。
- 2) 场地清扫。
- 3) 集会 1/ 集会 2。
- 4) 训练：内场（篮球、排球、乒乓球、羽毛球等）。
- 5) 训练：手球（20m×40m）。
- 6) 训练：体操（全场地）。
- 7) 比赛：内场。
- 8) 比赛：手球（20m×40m）。
- 9) 比赛：体操（全场地）。
- 10) 应急电视转播：内场。
- 11) 应急电视转播：手球。

- 12) 应急电视转播：外场。
- 13) 电视转播：内场。
- 14) 电视转播：手球。
- 15) 电视转播：外场。
- 16) 电视转播：拳击。

当体育馆用于非体育项目，如会议、集会、展览等时，应利用原有的灯具，照度设定为 150lx、400lx 两挡。

8.3 多功能体育馆的照明标准

表 7.10-6、表 7.10-7 给出了各种体育运动的照明要求及有关推荐值。

表 7.10-6 技巧、田径、自行车、马术、体操等运动的照明要求和推荐值

比赛级别	水平照度 (lx)	垂直照度 (主摄像机) (lx)	垂直照度 (辅摄像机) (lx)	水平照度 均匀度		垂直照度 均匀度		光源 显色性	光源 色温
				$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$	$R_a$	$T_c$ (K)
业余水平									
体能训练	150	—	—	0.4	0.6	—	—	20	4000
训练,娱乐	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	500	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
专业水平									
训练	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	750	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
电视转播									
国内电视转播	—	750	500	0.5	0.7	0.3	0.5	65	4000
国际电视转播	—	1000	750	0.6	0.7	0.4	0.6	80	4000
高清晰度电视 转播(HDTV)	—	2000	1500	0.7	0.8	0.6	0.7	80	4000
应急电视转播	—	750	—	0.5	0.7	0.3	0.5	80	4000

表 7.10-6 中的这些运动场地对尺寸无严格要求，基本上为体育馆的最大尺寸；也无固定摄像机，可根据场地、比赛与转播公司商定摄像机的具体位置。照明计算网格点间距为 2m，测试网格点间距为 4m（最大）。对于田径、自行车等运动，在终点处主摄像机的垂直照度应为所列值的 1.5 倍以上。对于自行车比赛，由于赛场的跑道是椭圆盆形，观众距跑道距离远，比赛时，运动员视线向前，并稍微向下，场地上空的光源不会对运动员有太多的影响，可采用在跑道上空或跑道外周边安装投光灯的办法。

表 7.10-7 柔道、拳击、空手道、跆拳道、摔跤等运动的照明要求和推荐值

比赛级别	水平照度 (lx)	垂直照度 (主摄像机) (lx)	垂直照度 (辅摄像机) (lx)	水平照度 均匀度		垂直照度 均匀度		光源 显色性	光源 色温
				$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$	$R_a$	$T_c$ (K)
业余水平									
体能训练	150	—	—	0.4	0.6	—	—	20	4000
训练、娱乐	500	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
国内比赛	1000	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
专业水平									
训练	500	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
国内比赛	2000	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000

续表

比赛级别	水平照度 (lx)	垂直照度 (主摄像机)	垂直照度 (辅摄像机)	水平照度 均匀度		垂直照度 均匀度		光源 显色性	光源 色温
		(lx)	(lx)	$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$	$R_a$	$T_c$ (K)
电视转播									
国内电视转播	—	1000	1000	0.5	0.7	0.6	0.7	65	4000
国际电视转播	—	2000	2000	0.6	0.7	0.6	0.7	80	4000
高清晰度电视 转播(HDTV)	—	2500	2500	0.7	0.8	0.7	0.8	80	4000
应急电视转播	—	1000	—	0.5	0.7	0.6	0.7	80	4000

表 7.10-8 所示的比赛场地尺寸为: 柔道, (16~18)m×(30~34)m; 空手道, 10m×10m(比赛场地 PPA, 8m×8m); 拳击、跆拳道、摔跤, 12m×12m。主摄像机位置可位于场地的对角线上, 也可位于裁判席的背面。照明计算和测试网格点间距为 1m。

这类比赛场地通常被安排在一个最高高度为 1.1m 的平台上, 在训练或娱乐时可以利用馆内的总体照明, 但在进行高标准的比赛时只能提高比赛区域的照度, 而且不允许产生阴影。由于这些运动迅速、范围小, 要求在各个方向都有较高的能见度, 因此对垂直照度的要求高。在进行拳击比赛时, 最好灯光有升降装置, 能降至一定高度 (6m)。

表 7.10-8 羽毛球运动的照明要求和推荐值

比赛级别	水平照度 (lx)	垂直照度 (主摄像机) (lx)	垂直照度 (辅摄像机) (lx)	水平照度 均匀度		垂直照度 均匀度		光源 显色性	光源 色温
				$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$		
业余水平									
体能训练	150	—	—	0.4	0.6	—	—	20	4000
训练, 娱乐	300/ 250	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	750/ 600	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
专业水平									
训练	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	1000/ 800	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
电视转播									
国内电视 转播	—	1000/ 700	750/ 500	0.5	0.7	0.3	0.5	65	4000
国际电视 转播	—	1250/ 900	1000/ 700	0.6	0.7	0.4	0.6	80	4000
高清晰度 电视转播 (HDTV)	—	2000/ 1400	1500/ 1050	0.7	0.8	0.6	0.7	80	4000
应急电视 转播	—	1000/ 700	—	0.5	0.7	0.3	0.5	80	4000

表 7.10-8 中, 照度较大的为比赛区域(PPA), 较小的为全场区域(TPA); 比赛场地尺寸为 10.1m×19.4m(PPA 为 6.1m×13.4m); 主摄像机位于底线后 12~20m 范围内, 高度为 4~6m, 辅摄像机在边线旁、底线与球网之间; 照明计算/测试网格点间距为 2m/4m。羽毛球比赛要求在 PPA 区域内无阴影产生, 观众席照明照度低, 以创造出较暗的背景, 保证白色小球的更好的亮度对比; 并且为避免眩光, 在 PPA 区域上空及 PPA 的后侧上空不应布置灯具, 对大型国际比赛, 灯具安装高度应大于 12m, 以保证在此范围内无眩

光源。

表 7.10-9 篮球、排球等运动的照明要求和推荐值

比赛级别	水平 照度 (lx)	垂直 照度 (主摄 像机)	垂直 照度 (辅摄 像机)	水平照度 均匀度		垂直照度 均匀度		光源 显色 性	光源 色温
		(lx)	(lx)	$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$	$R_a$	$T_c$ (K)
业余水平									
体能训练	150	—	—	0.4	0.6	—	—	20	4000
训练,娱乐	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	600	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
专业水平									
训练	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	750	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
电视转播									
国内电视转播	—	750	500	0.5	0.7	0.3	0.5	65	4000
国际电视转播	—	1000	750	0.6	0.7	0.4	0.6	80	4000
高清晰度电视 转播(HDTV)	—	2000	1500	0.7	0.8	0.6	0.7	80	4000
应急电视转播	—	750	—	0.5	0.7	0.3	0.5	80	4000

表 7.10-9 中, 比赛场地为: 篮球, 19m×32m(PPA: 15m×28m); 排球, 13m×22m(PPA: 9m×18m); 主摄像机位于中线后的观众席上, 高度在 4~5m, 辅摄像机在底线后; 照明计算/测试网格点间距为 2m/4m。

国际篮联与国际排联对新的场地尺寸要求为 25m×40m 和 19m×34m, 对主摄像机垂直照度的要求大于 1500lx。由于运动员在比赛时视线经常向上, 因此照明布置应减小灯具与天花背景的亮度对比。对于篮球场, 灯具布置应尽量避免灯具经地板反射后对观众和摄像机的眩光; 对于排球比赛, 为减小眩光, 在场地的球网上空不应有高照度的灯具出现。

表 7.10-10 冰球、短道速滑、花样滑冰等运动的照明要求和推荐值

比赛级别	水平 照度 (lx)	垂直 照度 (主摄 像机)	垂直 照度 (辅摄 像机)	水平照度 均匀度		垂直照度 均匀度		光源 显色 性	光源 色温
		(lx)	(lx)	$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$	$R_a$	$T_c$ (K)
业余水平									
体能训练	150	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
训练,娱乐	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	600	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
专业水平									
训练	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	1000	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
电视转播									
国内电视转播	—	1000	750	0.5	0.7	0.4	0.6	65	4000
国际电视转播	—	1400	1000	0.6	0.7	0.4	0.6	80	4000
高清晰度电视 转播(HDTV)	—	2500	2000	0.7	0.8	0.6	0.7	80	4000
应急电视转播	—	1000	—	0.5	0.7	0.4	0.6	80	4000

表 7.10-10 中, 比赛场地尺寸为 30m×60m; 冰球的主摄像机位于球门后, 高度较高, 短道速滑和花样滑冰的主摄像机沿着场地的长轴方向, 也可位于场地四角或等候区; 照明计算/测试网格点间距为 2m/4m; 在比赛时, 场地四周会

有高度大于1m的挡板,照明应避免挡板造成的阴影。

这几项运动由于速度快、对抗性强、运动幅度大,对垂直照度的要求较高,光线应从几个方向同时投射。运动员的视线一般是向下或水平,灯具的直接眩光对运动员的影响不大,但冰面的反射眩光将会分散运动员的注意力,因此灯具的配光应该较宽。为了保证冰场的冰面不受灯具下滴的冷凝水损坏,应特别注意灯具的位置和悬挂。如果采用顶部照明,灯具的安装高度应在10m以上;若采用侧面照明布置,灯具的高度应不低于14m,速滑采用侧面照明更合适。

表 7.10-11 击剑、足球手球、曲棍球、乒乓球等运动的照明要求和推荐值

比赛级别	水平照度 (lx)	垂直照度 (主摄像机)	垂直照度 (辅摄像机)	水平照度 均匀度		垂直照度 均匀度		光源 显色性	光源 色温
		(lx)	(lx)	$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$	$R_a$	$T_c$ (K)
业余水平									
体能训练	150	—	—	0.4	0.6	—	—	20	4000
训练,娱乐	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	500	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
专业水平									
训练	300	—	—	0.4	0.6	—	—	65	4000
国内比赛	750	—	—	0.5	0.7	—	—	65	4000
电视转播									
国内电视转播	—	1000	700	0.4	0.6	0.3	0.5	65	4000
国际电视转播	—	1400	1000	0.6	0.7	0.4	0.6	80	4000
高清晰度电视 转播(HDTV)	—	2000	1500	0.7	0.8	0.6	0.7	80	4000
应急电视转播	—	1000	—	0.4	0.6	0.3	0.5	80	4000

表 7.10-11 中,比赛场地的大小为:击剑,18m×2m(PPA:14m×2m);足球,(15~25)m×(25~42)m;手球,24m×44m(PPA:20m×40m);曲棍球,(22~26)m×(40~48)m[PPA:(18~22)m×(36~44)m];乒乓球,7m×14m(PPA:1.52m×2.72m);主摄像机位于场地中线后,辅摄像机位于底线或球门后,而乒乓球的主摄像机位于比赛场地的角上;照明计算/测试网格点间距为2m/4m。

这些运动的照明一般将灯具布置于场地两侧。采用高强度气体放电光源时,对乒乓球比赛的灯具配光不宜太窄,这是因为乒乓球的球小,比赛中球的速度快,要求光线柔和,四周要有较强的对比度,并且场地表面不得有明显的反射光,要求在背景的衬托下能清楚地看清球的整个飞行轨迹。

表 7.10-12 网球等运动的照明要求和推荐值

比赛级别	水平照度 (lx)	垂直照度 (主摄像机) (lx)	垂直照度 (辅摄像机) (lx)	水平照度 均匀度		垂直照度 均匀度		光源 显色性 $R_a$	光源 色温 $T_c$ (K)
				$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$		
业余水平									
体能训练	150	—	—	0.4	0.6	—	—	20	4000
训练,娱乐	500/ 400	—	—	0.4 0.3	0.6 0.5	—	—	65	4000
国内比赛	750/ 600	—	—	0.4 0.3	0.6 0.5	—	—	65	4000
专业水平									
训练	500/ 400	—	—	0.4 0.3	0.6 0.5	—	—	65	4000
国内比赛	1000/ 800	—	—	0.4 0.3	0.6 0.5	—	—	65	4000

续表

比赛级别	水平照度 (lx)	垂直照度 (主摄像机) (lx)	垂直照度 (辅摄像机) (lx)	水平照度均匀度		垂直照度均匀度		光源显色性 $R_a$	光源色温 $T_c$ (K)
				$U_1$	$U_2$	$U_1$	$U_2$		
				电视转播					
国内电视转播	—	1000/ 700	750/ 500	0.5 0.3	0.6 0.5	0.5 0.3	0.6 0.5	65	4000
国际电视转播	—	1250/ 1000	1000/ 750	0.5 0.5	0.6 0.6	0.5 0.3	0.6 0.5	80	4000
高清晰度电视 转播(HDTV)	—	2500/ 1750	1750/ 1250	0.7 0.6	0.8 0.7	0.7 0.6	0.8 0.7	80	4000
应急电视转播	—	1000/ 700	— —	0.5 0.3	0.6 0.5	0.5 0.3	0.6 0.5	80	4000

表 7.10-12 中,比赛场地尺寸为18.288m×36.57m(PPA:10.973m×23.774m);主摄像机位于底线后,可以在看台上,也可以在地面上,辅摄像机在球网与底线间的边线外;照明计算/测试网格点间距为2m/4m。

网球场照明不仅要使场地照度满足要求,同时在场地上方的一段空间内也应有足够的亮度和均匀度。比赛时运动员视线方向不定,因此应解决好空间过渡和限制眩光的关系。一般采用侧边照明方式,灯具及天花板在球网上空的高度大于9.144m,在底线上方的高度大于6.096m。

## 9 室外多功能体育场照明

室外多功能体育场,由于场地大、灯具数量多,照明要求高,更需要专业、高效的照明设计。

由于室外运动场的背景亮度很低,因此在决定照明布灯方式和安装高度时,应首先考虑减少不必要的、过分强烈的亮度对比,即减小对运动员的眩光干扰。在室外运动场中,背景为黑暗的夜空,而且由于采用高强度气体放电光源,光源数量多,光源的表面亮度高,在任何方向观看都不可能没有眩光。因此应尽量在运动员的正常视线方向内,通过灯具布置,减小眩光。

目前常用的布灯方式有以下三种:

1) 四角四塔式。即在场地四角处布置灯杆,灯具安装于灯杆上,常用于足球、田径等运动。

四角四塔式照明方式,系统总投资较小,安装较简便,性价比较好;但由于灯具集中于一个位置,眩光会较大,且场地内运动员的阴影非常明显,照度均匀度不易提高。并且由于投射距离远,所用的灯具必须为配旋转对称反射器的窄光束灯具,柱面反射器的灯具不适合安装在灯杆上。

目前国内许多改造项目的体育场及主场地以外的训练场均采用此系统。

2) 周边的马道或灯杆布置。这是将灯具连续分布于马道上或周边的灯杆布置方式,常用于足球、田径、网球、橄榄球等运动。

这种方式照明系统投资最高。由于灯具分散布置,眩光较小,阴影不明显,照度均匀度提高,因此容易满足主摄像机垂直照度的要求。但由于采用马道式分布,灯具安装分散,安装较为复杂,同时由于灯具安装于两侧或周围挑篷上下的马道上,对建筑的挑篷高度依赖很强,因此须与建筑尽早协作。这种照明方式的效果是最好的,同时,由于挑篷的遮盖,大部分观众席符合各体育协会对运动场的要求。

连续马道光带布置方式是目前大型体育场照明方式的



首选。

3) 四角及两侧光带/灯杆并用方式。此方式常用于足球、田径等运动。

在四角布置 4 个灯杆，场地两侧利用马道或灯杆作补充。这种方式结合以上两种照明方式的优点，在满足照明效果的同时，也降低系统投资，它的性价比是最好的，经常要求电视转播的场地内使用。室外多功能体育场的结构条件五花八门，进行的运动多种多样，因此不可能建立标准的设计方案，应根据不同的场地条件、不同的运动及是否电视转播决定灯具位置并为其做专门的照明设计。下面述及的仅是几个不同规模场地的照明建议。

目前室外多功能体育场有三种：小型训练场，非电视转播的体育场，电视转播的体育场。

9.1 小型训练场

小型训练场主要用于娱乐及训练，可以进行多种不同的运动，但由于投资的问题，希望有适宜的照明可满足所有的运动，如篮球、网球、5 人制足球等。这些场地的照明以水平照度要求为主，并在主观察点位置上无眩光。对这些场地，最常用的照明方式是在两侧各布置两根灯杆。灯杆的最低高度在 8~10m，间距视场地条件而定。水平照度要求一般最少要大于 200lx。

图 7.10-15 和图 7.10-16 为室外网球场的灯杆位置和高度推荐图。

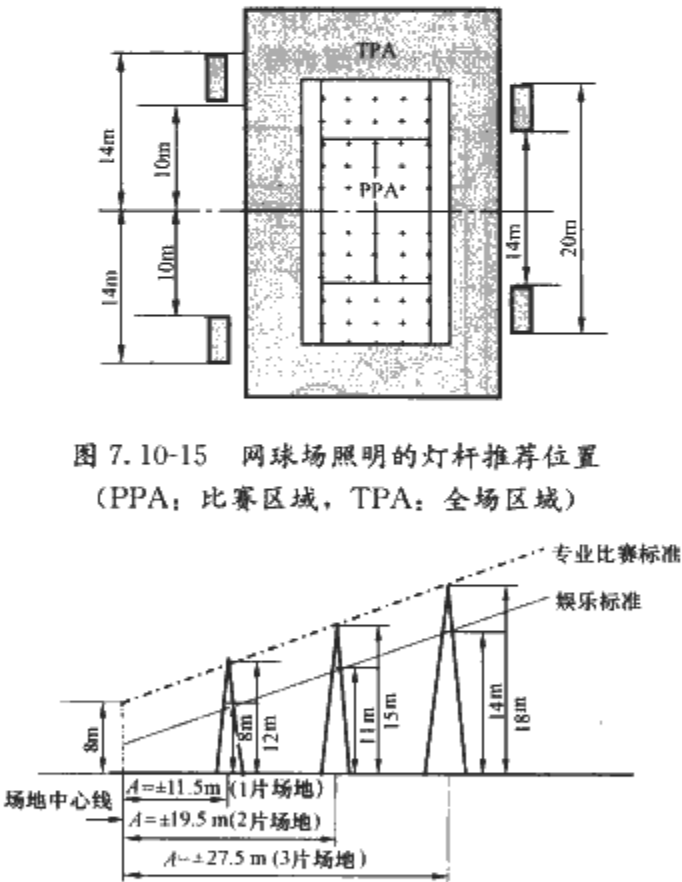


图 7.10-15 网球场照明的灯杆推荐位置 (PPA: 比赛区域, TPA: 全场区域)

图 7.10-16 网球场灯杆高度的推荐值

9.2 非电视转播的体育场

非电视转播的体育场可进行如足球、田径、橄榄球、曲棍球等大型运动，场地周围有少量的观众席。

非电视转播的体育场对照明的要求除垂直照度以外均要考虑，由于要进行比赛，因此消除对运动员的眩光尤为重要。表 7.10-13 为非电视转播足球场的照明要求，其中的照度值为照度维持值，维护系数为 0.8，每 5m 的照度梯度小于 55%。

表 7.10-13 非电视转播足球场的照明要求

名称	水平照度	均匀度	眩光	光源色温	光源色性
	$E_{\text{hmv}} (\text{lx})$	最小/平均	GR	$T_c$	$R_a$
国内比赛	500	0.7	$\leq 50$	$> 4000\text{K}$	$\geq 80$
俱乐部比赛	200	0.6	$\leq 50$	$> 4000\text{K}$	$\geq 65$
训练、娱乐	75	0.5	$\leq 50$	$> 4000\text{K}$	$\geq 20$

对于室外足球场，通常的布灯方式有两种。

1) 足球场两侧布灯。当采用两侧布灯时，为保证安全，灯杆与边线间应保证 4m 以上的距离。一般非比赛照明的灯杆最低为 15m；若为比赛照明，则灯杆高度应在 18m 以上。为避免守门员的眩光，在图 7.10-17 所示的区域内应无灯具布置。

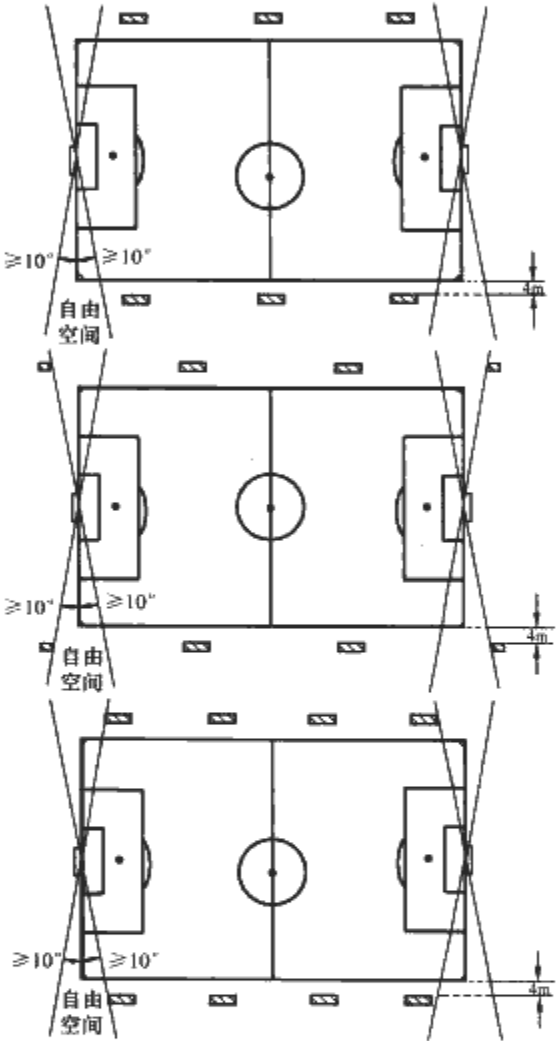


图 7.10-17 典型的足球训练场灯杆位置

如果在边线或底线后有足够的位置，则灯杆应该再往后移，但高度应符合如图 7.10-18 所示的要求，即在与边线垂直的方向上灯具到场地中心的投射角应大于 25° (与水平面的夹角)。

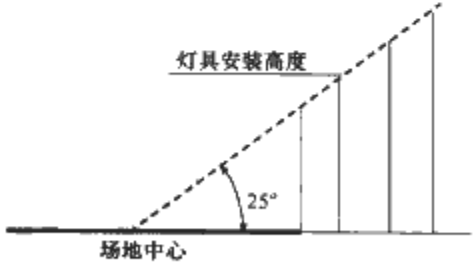


图 7.10-18 足球训练场灯杆高度

足球训练场灯杆位置应如图 7.10-19 所示，保证灯杆在底线 10° 以外，边线 5° 以外的位置上。灯杆高度如图 7.10-20 所示，即灯具到球场中心的投射角应大于 25° (与水平面的夹角)。



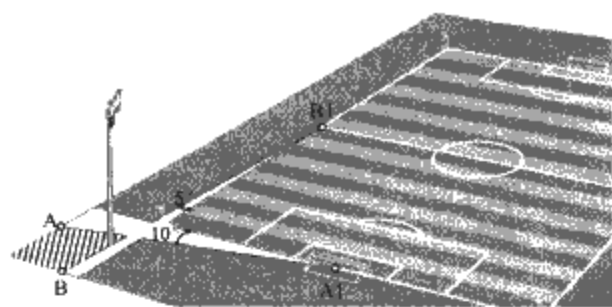


图 7.10-19 足球训练场灯杆位置

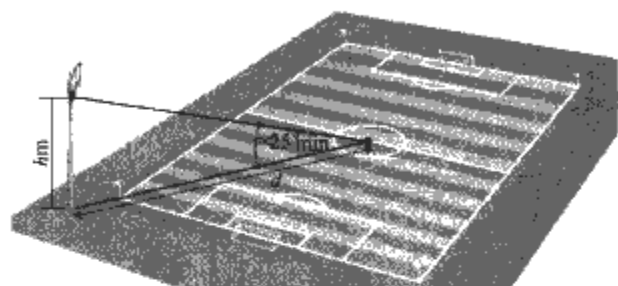


图 7.10-20 足球训练场灯杆高度

室外田径场的照明通常采用围绕场地分开排列的灯杆或光带方式。灯杆或光带高度应符合如图 7.10-21 所示的要求，这是一种较有效的办法；如果仅照明跑道，灯杆高度也应该大于 10m。

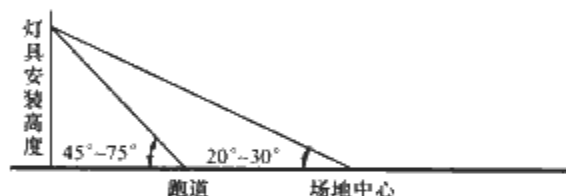


图 7.10-21 田径场地的灯杆高度

对于体育场半圆形的弯道部分，应该沿弯道额外布置灯具。如果跳远、撑杆跳高的助跑跑道在主跑道内，则灯具的安装高度应更高。在撑杆跳高的杆支撑点附近，应避免安装灯杆，以减少眩光。

对于室外田径场，四杆式的照明方式很少被采用，而是更多地采用六杆式照明。不论四杆式或六杆式照明，必须避免灯杆阴影出现在场地及观众席上；如果这种阴影不可避免，则应在观众席挑篷上部或下部的马道上安装灯具，以消除阴影。

### 9.3 带电视转播的体育场

对于带电视转播的体育场，照明应符合各种不同运动、不同等级的需求，并作不同的开关模式。同时应注意光源的显色性、色温等，还要特别注意眩光控制，严格计算垂直照度，尤其是对主摄像机的垂直照度。

带电视转播的体育场照明的形式取决于体育场的建筑。一般此类体育场的灯杆高度将大于 40m；如在挑篷马道上安装灯具，则马道高度应大于 30m。

由于体育场内安装的灯具数量较多，而现代体育场建筑结构中留给照明灯具的安装空间越来越小，因此须考虑灯具的重量、外形尺寸及迎风面积。

带电视转播的体育场应有相应的照明控制开关模式，以满足不同功能要求的照明，一个体育场典型的开关模式应有以下几种：

- 1) 观众进/退场。
- 2) 清扫场地。
- 3) 足球训练。

- 4) 田径训练（跑道）。
- 5) 田径训练（全场）。
- 6) 足球比赛。
- 7) 田径比赛。
- 8) 应急电视转播（足球）。
- 9) 应急电视转播（田径）。
- 10) 国际电视转播（足球）。
- 11) 国际电视转播（田径）。
- 12) 高清晰度电视转播 HDTV（足球）。
- 13) 高清晰度电视转播 HDTV（田径）。

#### (1) 足球场照明

目前要求电视转播的室外体育场中最多的是足球场。

有电视转播的足球场照明，最重要的是对摄像机的垂直照度、眩光，以及应急电视转播的满足。在转播时会同时有多部摄像机工作，因此应满足所有摄像机的垂直照度要求。

灯具布置依然采用四角灯杆布灯、两侧布灯或四角与两侧混合照明方式。

采用四角灯杆布灯方式时，为避免守门员的眩光并提高辅摄像机的垂直照度，同时保证看台不会挡光，灯杆应位于如图 7.10-22 所示的位置；灯杆的中心高度应满足如图 7.10-22 所示的要求，即中心灯具与场地中心的连线与地面的夹角大于  $25^\circ$ 。为更好地控制眩光并有效地减少对场地外的溢散光，灯具的最大投射角应不超过  $70^\circ$ ，如图 7.10-23 所示，在灯杆顶部的灯拍上，灯具上下、左右应保证足够的空间，以避免相互挡光。为使灯拍尺寸更紧凑，并使上、下灯具不挡光，灯拍应有  $15^\circ$  的倾斜角，如图 7.10-24 所示。

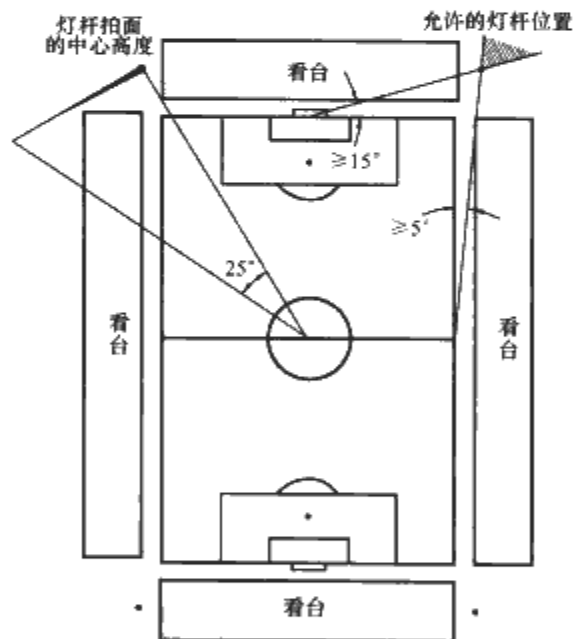


图 7.10-22 四塔式布置灯杆位置及高度

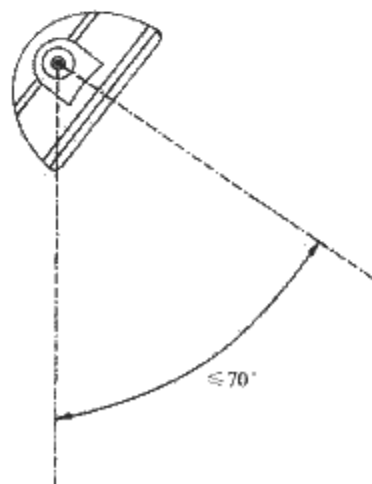


图 7.10-23 灯杆布置灯具的最大投射角度

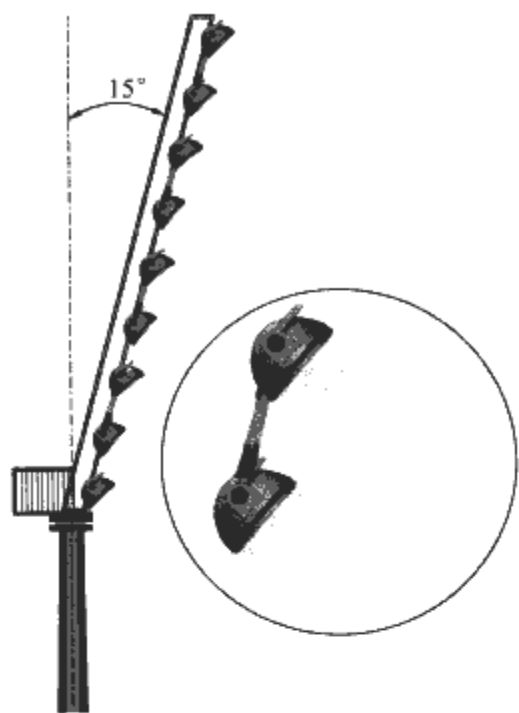


图 7.10-24 灯杆上灯拍的倾斜角

采用两侧布灯方式时，灯具可以以连续或簇状形式安装于两侧观众席挑篷的下檐或上檐，也可以安装于侧边的灯杆上；但在如图 7.10-25 所示的自由区内不得布灯，以有效控制眩光。所有灯具的投射角应不超过 70°，在垂直于边线的

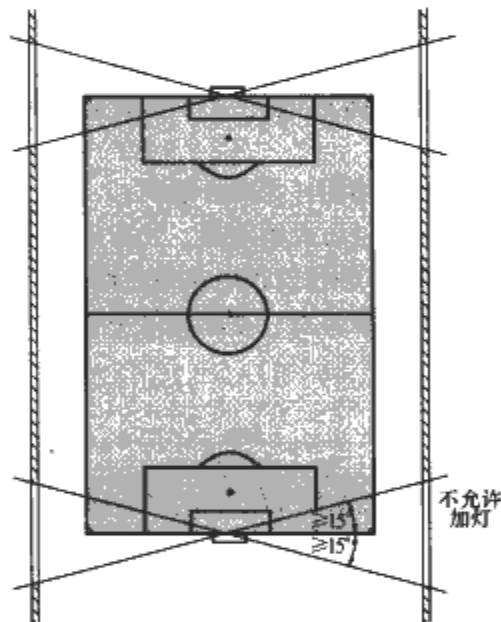


图 7.10-25 采用两侧布灯方式的灯具允许位置

平面内灯具与场地中心的连线与地面的夹角一定要大于 25°，大于 30°更佳。

眩光的控制在足球场照明中尤为重要，通常在足球场中选择最有代表意义的 11 个观察点，如图 7.10-26 所示，根据眩光计算公式及全场灯具布置，计算出对一个观察点的最大眩光值，这 11 个最大眩光值中的最大值即 GR<sub>max</sub> 应小于 50。

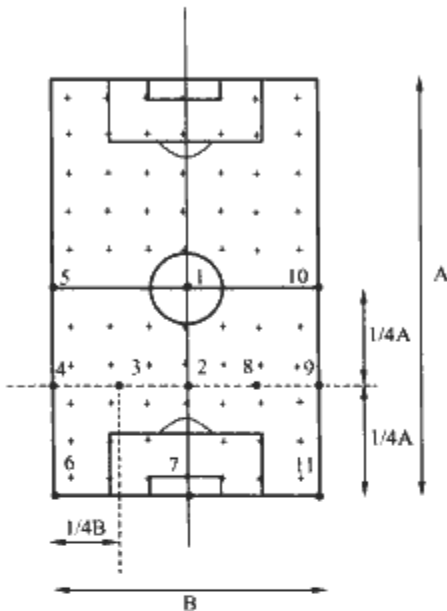


图 7.10-26 足球场眩光观察点

表 7.10-14 给出了带电视转播的足球场的照明推荐值，其中照度值为照度维持值，维护系数为 0.8，每 5m 的照度梯度不超过 20%。

(2) 棒球场照明

棒球场场地为平整的泥土或草地，分为内场和外场区域，内场为 27.43m×27.43m，外场的边缘线（本垒打线）是以投手前沿中心为圆心，以 121.91m 为半径所画弧形。棒球球体小，飞行速度快，观众的视看距离远（有时在 150m 以上），宜主要采用窄光束的灯具。

棒球场照明的范围不仅在运动场地上，在场地上部空间也应有充分的照度，在投手和接球手之间范围内特别需要高照度照明。为了减少对观众的眩光干扰和增加对视觉环境的舒适感，距球场界线外侧还应有 7m 的被照面积。为减小眩光，增加空间亮度，灯具的安装高度应大于 28m，重大比赛场地的灯杆高度应大于 35m。通常采用 6 根灯杆或 8 根灯杆安装灯具，灯杆应位于主要视觉范围（20°）以外，以减小不必要的眩光。

表 7.10-14 电视转播的足球场照明标准

名 称	类 型	垂直照度			水平照度			眩光	光 源	
		平均值 (lx)	均匀度		平均值 (lx)	均匀度			色 温	显色性
			$U_1$	$U_2$		$U_1$	$U_2$			
国内 电视转播	固定摄像机	1000	0.4	0.6	1000~2000	0.6	0.8	<50	>4000	>80 (90 更佳)
国际 电视转播	慢镜摄像机	1800	0.5	0.6	1500~3000	0.6	0.8	<50	>5500	>80 (90 更好)
	固定摄像机	1400	0.5	0.7						
	移动摄像机	1000	0.3	0.5						

电视转播时内场的垂直照度要求大于 1400lx，外场的垂直照度要求大于 1000lx，最大眩光指数  $GR_{max}$  应小于 50，同时必须注意内外场交接处的照度梯度。棒球场灯杆位置和灯具精确瞄准器分别如图 7.10-27、图 7.10-28 所示。

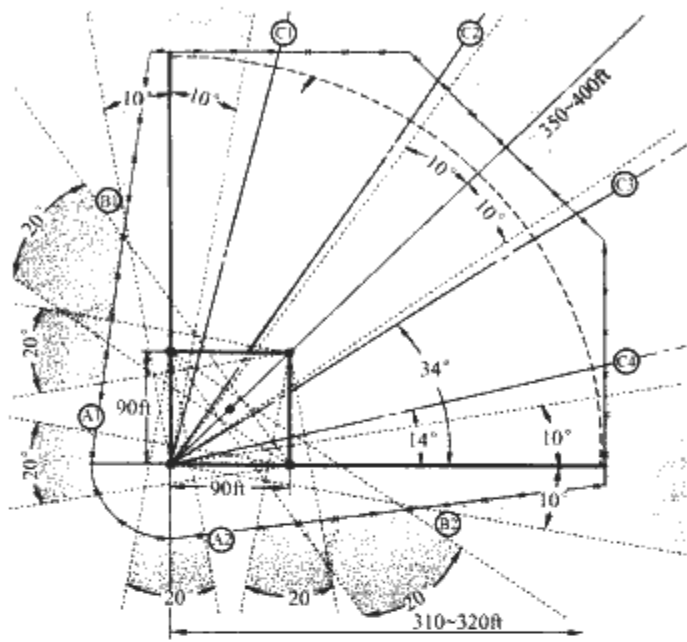


图 7.10-27 棒球场灯杆位置

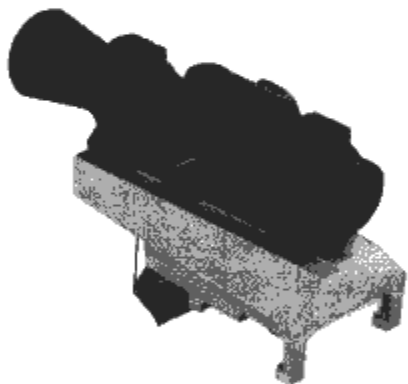


图 7.10-28 灯具瞄准用  
精确瞄准器

## 10 照明灯具调试

由于体育运动场馆中照明灯具数量众多，瞄准点复杂，灯具的绝对光强大，一个灯具的瞄准点与设计不一致就会导致全部照明参数不符合要求，影响照明效果，因此灯具安装完成后，一定要根据最初的照明设计进行精确的瞄准点调试方能达到设计要求。目前有两种常用的调试方法：照明灯具角度调试，照明灯具位置点对投射点调试。这两种方法均可基于照明计算报告调试不同型号的灯具，并可在断电情况下调试，比较安全。

1) 角度调试。依靠灯具外壳上的角度刻度盘，通过旋转灯具的水平角度及调整垂直倾角达到要求，这两个角度由照明计算报告给出。如果计算报告仅给出瞄准点，则需要通过计算得出这两个角度，再利用灯具的刻度盘进行调整。这种方法对窄光束灯具、灯具数量较多的大型体育场馆均不适合，但可用于小型体育馆、灯具数量不多且为宽光束灯具的场合，另外在调试时，场地内还可以安排其他活动而无

冲突。

2) 点对点调试。即将灯具最大光强与灯具瞄准点一一对应，以达到设计要求。首先须在场内将灯具的瞄准点一一标示出来，然后在灯杆或马道上利用精确红外调光器将灯具与相应瞄准点一一对应，将灯具的最大光强指向瞄准点。这种调试方法非常精确，可很好地满足计算数据，在目前的体育照明调试中经常使用这种方法。但这种方法要求灯具配备精确的调光装置（见图 7.10-28），并且在调试时，场地内不可以进行其他活动。

由于体育照明中使用灯具数量众多，因此在初期的照明设计中，就应尽量简化场地内灯具瞄准点的分布，使瞄准点在场地内呈现有规则状态，且越简单越好，以方便以后的调试。

调试过程中，为减小灯具相互挡光的可能性及出于安装美观的考虑，在不改变开关模式的前提下，需要对灯具位置作适当调整。

## 11 照明结果的测试

为检验体育照明最终效果与设计要求是否符合，应对照明结果进行逐一测试，测试内容包括：水平照度、垂直照度（对主摄像机和四边）、照度均匀度、眩光、光源现场显色指数及相关色温。测试前首先需确认以下几点：

- 1) 所有灯具正常工作，瞄准点正确。
- 2) 每个开关模式的灯具数量、型号正确。
- 3) 高强度气体放电光源是否已经有 50~100h 的老化，如果已超过 100h，则应记录下工作时间。
- 4) 对高强度气体放电光源，测试前灯具应正常工作 30min 以上。
- 5) 空气干净、晴朗，无额外照明。
- 6) 镇流器输入电压及镇流器、光源的两端电压正确。
- 7) 经余弦校正/颜色校正以及检验期有效的照度计。
- 8) 符合标准的测试点（足球场见图 7.10-29、田径场见图 7.10-30）。

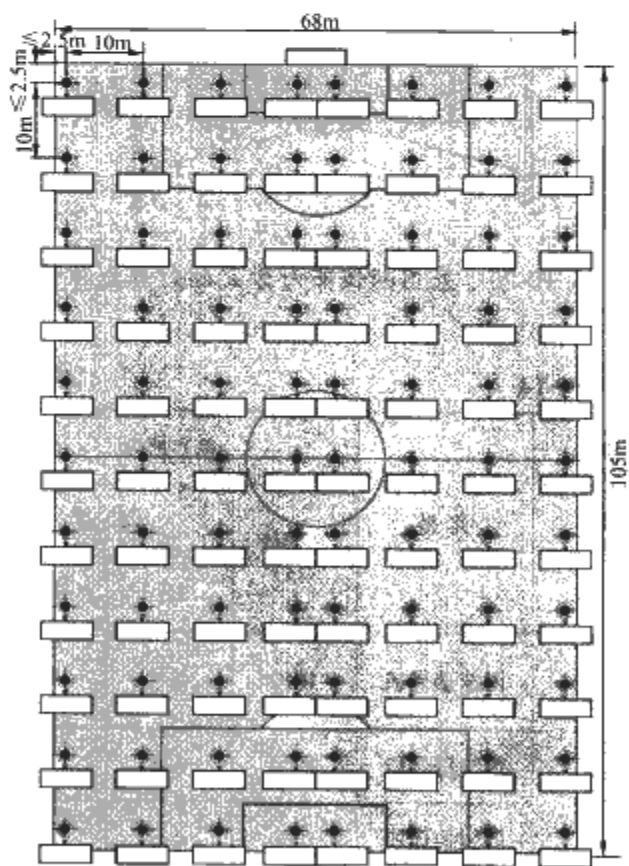


图 7.10-29 足球场测试网格点

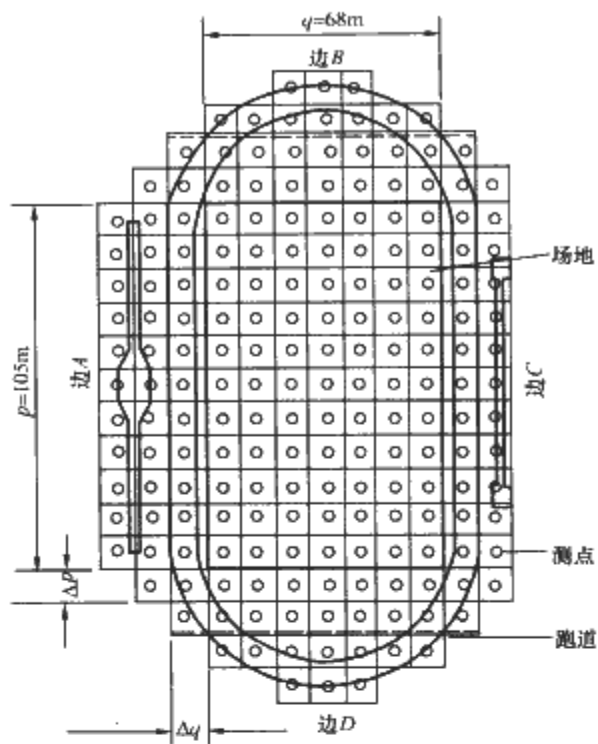


图 7.10-30 田径场测试网格点

测试时应避免测试者的挡光现象及测试者衣服的反射对照度的影响，因此建议采用探头可分离的照度计。另外电压飘移也会影响光源光通量，为保证测试的正确，测试时应按一定时间间隔（0.5h）测量镇流器输入电压，以保证光源正常工作。测试时还应根据电压偏差对测试结果进行再校正，再与计算报告相比较。最后，通过测试数据的整理，得出不同开灯模式下的水平照度、垂直照度、照度均匀度等值。

由于电压的波动、光源、灯具、镇流器的一致性、安装位置、瞄准点与计算的偏差、测量设备的精度及其他因素对测试结果的影响，测试结果与计算数据存在一定的偏差，这个偏差在 10% 的范围内是完全可以接受的。

## 第11章 夜景照明

夜景工程是城市基础设施和城市容貌管理工作的重要内容,代表了一个城市的文化和科学管理水平。夜景照明设计主要包括城市道路、公共广场、建筑物、商业街、园林绿化、景观雕塑、桥梁水景等具体规划设计。

### 1 夜景照明设计的基本理念

1) 夜景照明要凸显城市的自然景观及人文景观,表现该城市的特有形象。

2) 夜景照明要服从城市景观规划的要求,并体现建筑的总体风格,表现整体的文化底蕴。

3) 夜景照明要充分体现美学与照明光学技术的有机结合。

4) 充分发挥光的物理特性,各类光源的特性及灯具对光的调整能力,调动人的照明生理和心理适应性,创造一个优美、舒适的夜景环境。

夜景照明设计必须贯彻节能方针,设计中要有节能控制的运作模式;夜景照明是环境工程,必须贯彻环保方针;夜景照明是环境艺术工程,要做到既美观又经济,建立一个最佳的光环境。

### 2 夜景照明规划设计

#### 2.1 设计指导思想

1) 夜景照明规划是地区总体规划的重要组成部分,用以初步确定城市或地区的夜景概况和重点景区地带,并处理好近期建设与远期发展的关系。

2) 夜景照明规划包含夜景照明总体规划和街(区)夜景照明详细规划,设计中要满足其设计深度要求。

3) 夜景照明规划应体现地域文化内涵,力图形成融合当地社会生活、情趣与风俗的独特的景观特色。

4) 夜景照明规划应注重对本区域(城市)原有人文和生态环境的保护,控制光污染。

5) 夜景照明规划应充分考虑和利用本区域(城市)的现有灯光体系。

6) 经济适用。

#### 2.2 夜景区域划分及规划要点

##### (1) 夜景区域的划分

夜景区域的划分应根据城市或地区规划中确定的功能区域性质进行,通常分为四类。

1) 对夜间照明严格限制的地区,如国家公园与动、植物园等高环境要求的区域。

2) 对夜间照明在不同时段内均需要适当限制的地区,如低密度高级住宅区、大学区、城市近郊、城市公园的绿化区域等。

3) 需要用夜景照明创造活跃环境,但在部分时段内需要限制的地区,如城市商住混合区等。

4) 夜间活动持续时间长,需要大量的照明塑造城市形象且对照度一般不需要限制的地区,如城市中心商业区、主

要干道、城市广场等。

##### (2) 规划要点

1) 应对区域景观起到控制与指导作用。规划要点的确定应着重考虑地域特色、城市结构、空间界面、景观轮廓、色彩平衡、亮度变化以及高新技术等因素。

2) 控制方式的区域划分。在规划中应根据需要确定夜景照明系统的分区和控制模式。鉴于夜景照明系统一般分布区域较大,建议采用数字化信号传输模式。

##### (3) 建设方式和管理体制

为了保证城市或地区夜景照明规划能够顺利有效地逐步实施,应在规划中初步确定适合当地情况的建设方式和管理体制,并应注意执行当地政府相关部门颁布的管理办法。

### 2.3 规划设计要点

#### (1) 区域(城市)景观分析和灯光现状评价

一个城市或地区的景观含自然景观和人文景观两类,自然景观包括山体、水体、植物园林以及气候变化所带来的季节景观。人文景观包括历史建筑与现代建筑、庭院广场、街区商铺以及文化民俗活动等。所有这些构成了城市夜景照明的基本载体,因此必须进行深入合理的评价与分析。同时应认识到原有灯光系统的客观存在,和对整体夜景效果所具有的不可忽略的影响。

#### (2) 确定夜景照明主题并建立灯光景观体系

一个城市或地区的夜景照明规划主题应该依托于当地的社会科学文化形态,并与当地居民的夜间生活体系紧密地结合。

灯光景观体系一般可分为静态视觉界面、静态视觉中心和动态视觉界面等几类:

1) 静态视觉界面系指观赏者处于特定区域内时足以占据其大部分视线的景物,如建筑群体、城市广场、大型花园、水体等。

2) 静态视觉中心多为标志性建筑或超高建筑物、大型城市雕塑、景观喷泉、纪念碑等,由于其形体或喻义特殊而成为吸引视线的焦点。

3) 动态视觉界面则是观赏者沿一定线路行进时,陆续进入其视线的景物群体,如繁华的商业街、城市的中心干道、穿过城区的河水两岸等。

#### (3) 规划中的秩序原则

夜景照明规划应根据城市或地区总体规划在宏观上建立总体秩序,使各区域性夜景子系统相互协调,防止无序的亮度攀比,避免杂乱的灯光、雷同的手法以及不适当的颜色对城市规划的成果造成破坏。

#### (4) 夜景照明规划中的重点景区应具备的基本要素

1) 城市的政治、文化旅游或商业中心。

2) 历史悠久,享有盛名的街(区)及景观。

3) 城市的标志性建筑。

4) 夜间人员较密集且活动持续时间较长的场所。

5) 对周边地区产生一定的辐射性影响作用。

应在规划中初步确定重点景区的夜景照明主题,并作

出较详细的规划。同时应注意,带有演示性的重点景观会吸引较多行人的驻足观看,因而不宜设置在交通拥挤的地区。

#### (5) 标志性建筑在夜景规划中占有重要的地位

标志性建筑有着自身突出、醒目、高大的形象,又能成为城市的方位布局的标志物。标志性建筑可以是超高层建筑、历史建筑或构筑物、具备特殊意义的现代建筑或构筑物等。标志性建筑所在的地区应规划为重点景区。标志性建筑自身的亮度宜高于周围夜景景观的亮度。

### 2.4 在进行夜景照明规划和设计时应遵守的设计规范

《低压配电设计规范》(GB 50054—1995);《供配电系统设计规范》(GB 50052—1995);《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—1994) (2000年版);《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008);《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006);《系统接地的型式及安装技术要求》(GB 14050—1993)。

在进行夜景照明规划和设计时,还必须遵守当地政府有关部门发布的夜景照明总体规划和夜景灯光设施管理办法。

## 3 夜景照明的特点和基本设计原则

### 3.1 夜间景观的分类

#### (1) 自然夜景

夜间自然景观是由天空光线(月光、星光等)照射在具备较高反射率的自然景物上形成的,如雪景、河湖的夜景、彩云追月等。自然保护区的自然夜景不应受到人工照明过多的侵害。

#### (2) 灯光景观

灯光景观是指由于人类社会生活的需要,采用非自然发光体照亮物体或物体自身发光形成的具备艺术效果的景观。

### 3.2 夜景照明基本设计原则

1) 充分了解和发挥光的特性,如光的方向性、光的折射与反射、光的颜色、显色性、亮度等。

2) 针对人对照明所产生的生理及心理反应,灵活应用光线,会使人的视觉产生优美而舒适的感觉。

3) 根据被照物的性质、特征和要求,合理选择最佳照明方式。

4) 既要突出重点,又要兼顾夜景照明的总体效果,并和周围环境照明协调一致。

使用彩色光要慎重。鉴于彩色光的感情色彩强烈,可能会不适当地强化和异化夜景照明的主题表现,应引起注意。特别是一些庄重的大型公共场所的夜景照明,更要特别谨慎。夜景照明的设置应避免产生眩光和光污染。

### 3.3 根据城市功能区域确定灯光景观的主要特征

#### (1) 金融商业区

金融商业区一般位于城市或地区的中心地带,代表着本地区的时尚和风格。商业区入夜后人流众多、环境明亮,店牌广告五光十色,建筑高大密集,整体气氛热烈。

#### (2) 科研、教育、行政办公区

这些区域夜间一般行人较少,工作环境条件要求安静,整体气氛安详庄重。

#### (3) 休闲娱乐区

休闲娱乐区具有活泼、欢乐、浪漫和商业化的特征,如

酒吧一条街、电影广场等。服务对象以年轻人、游客居多。整体气氛轻松活泼。

#### (4) 居住区

居住区夜间要求安全、安静,整体气氛温馨宁静。

#### (5) 园林景区

由于植物和昆虫均需要休眠,因而不要进行大面积泛光照明,照明要控制光色,要尽量保持植物原有颜色,此外,必须提供道路的最低照明,确保游人安全。

### 3.4 充分利用现代技术和表现手法

1) 应尽量采用新型高光效、长寿命的光源,如LED、无极荧光灯、微波硫灯等低亮度光源,也可以考虑采用蓄光型自发光材料。

2) 应采用出射光通比高的灯具和高效节能的光源及电气附件,推荐采用光触媒技术的自清洁型灯具。

3) 采用现代技术开发新型控制系统,增加灯光控制的灵活性,在不同的时段展现不同的效果,增加灯光的可调节性。

### 3.5 夜景照明与城市道路照明

1) 夜景照明与城市道路照明的设置要协调。进行道路照明设计时,应参照夜景照明规划的要求;夜景照明要避免对司机产生干扰。

2) 在进行夜景照明设计时,应充分考虑对道路照明灯光的利用,并采取措施使其适应或融入整体夜景,同时应注意夜景照明对道路的环境照度提高的影响。

3) 由于道路照明灯光一般均需由市政部门管理和控制,故在考虑夜景照明控制系统设计时,应主动与有关部门协调处理。

### 3.6 环保要求

#### 3.6.1 夜间照明的亮度指标

1) 国家公园与动、植物园等环境要求严格的区域在深夜(11:00~04:30)时,夜间照明的总体平均垂直面照度不宜高于1lx,照明灯具的表面亮度不宜高于200cd;在其他时间平均垂直面照度不宜高于5lx,照明灯具的表面亮度不宜高于15000cd。

2) 低密度高级住宅区、城市近郊、城市公园的绿化区域等在深夜(11:00~04:30)时,夜间照明的总体平均垂直面照度不宜高于2lx,照明灯具的表面亮度不宜高于500cd;在其他时间平均垂直面照度不宜高于10lx,照明灯具的表面亮度不宜高于15000cd。

3) 城市商住混合区、乡镇中心区等在深夜(11:00~04:30)时,夜间照明的总体平均垂直面照度不宜高于5lx,照明灯具的表面亮度不宜高于1000cd;在其他时间平均垂直面照度不宜高于20lx,照明灯具的表面亮度不宜高于30000cd。

4) 城市中心商业区、城市广场等在深夜(11:00~04:30)时,夜间照明的总体平均垂直面照度不宜高于10lx,照明灯具的表面亮度不宜高于2500cd;在其他时间平均垂直面照度不宜高于30lx,照明灯具的表面亮度不宜高于30000cd。

#### 3.6.2 夜景照明设计及安装

在进行夜景照明设计及安装时,应有效地调整灯具的投射方向,控制灯光投射范围,避免过多的杂散光通对道路交通、行人、动植物和天空的影响。



### 3.6.3 严格控制眩光对行人的影响

## 4 夜景照明基本方式方法

### 4.1 几种主要夜景照明方式

#### 4.1.1 立面投光(泛光)照明

1) 要确定好被照物立面各部位表面的照度或亮度,使照明层次感强;不宜把整个景物均匀地照亮,特别是高大建筑物;也不能在同一照明区内出现明显的光斑或暗区,或扭曲其形象。

2) 合理选择投光方向和角度,一般不要垂直被照面投光,以致降低照明的立体感。

3) 投光设备的安装应尽量隐蔽,做到见光不见灯。

4) 灯光的颜色要淡雅、简洁、明快,防止光色使用不当而破坏景物的风格。

5) 投光不能对人产生眩光和光的干扰。

#### 4.1.2 景物轮廓照明方式

轮廓照明的方法是将点光源每隔 300~500mm 连续安装形成光带,或用 LED、霓虹灯、美耐灯、导光管、通体发光光纤等线性灯饰器材直接勾画景观轮廓。但应注意单独使用这种照明方式时,由于夜间景物是暗的,会产生强烈的明暗反应。因此,在选用轮廓灯时应根据景物的轮廓造型、饰面材料、维修难易程度、能源消耗及造价等具体情况,综合分析后确定。

#### 4.1.3 内透光照明方式

内透光照明是利用室内光线向外透射形成夜景照明效果。其主要方式有以下几种:

1) 无需专门安装内透光照明设备,而是利用室内一般照明灯光,让光线向外照射。

2) 在室内靠窗或需要重点表现其夜景的部位,如玻璃幕墙、廊柱、透空结构或艺术阳台等部位专门设置内透光照明设施,形成透光发光面或发光体来表现建筑物的夜景。

3) 在室内靠窗或玻璃幕墙处设置专用灯具和具备良好反射效果的窗帘,降下窗帘,利用反射光线形成景观效果。

#### 4.1.4 特种照明方式

随着激光、光纤、全息摄影,特别是电脑技术等高科技的发展及其在夜景照明中的推广应用,用特殊方法和手段营造特殊夜景照明的方式也应运而生。如使用激光器,通过各种颜色的激光光束在夜空进行激光立体造型表演;使用端头出光的光纤,形成一个个明亮的光点作为夜景装饰照明,亮点的明暗和颜色变化由电脑控制,有规律地变化形成各种奇特的照明效果。

### 4.2 用光技巧

1) 突出主光,兼顾辅助光。

2) 掌握好用光方向。

3) 通过控制照明灯光的光影分布,在建筑立面的照明效果中形成韵律节奏感。

4) 巧妙地应用逆光和背景光照亮景物的背景,形成剪影的效果。

5) 合理地使用色光。

6) 重点照明灯光用于表现景观的焦点核心部分。

7) 特定条件下模拟阳光。

### 4.3 城市建筑的夜景照明

建筑物,特别是标志性的建筑是城市夜景照明的重点。

夜景照明设计时,首先要分析建筑物的性质、特征和周围环境状况,然后构思照明方案,并预测要达到的效果。为了创造满意的照明效果,可以用泛光灯、轮廓灯或内透光等各种方式来突出整个建筑物的形态特征。

对于高大建筑物,可采用分层布光的泛光照明表现建筑物外观造型。同时建筑物凸出凹进部分,可根据具体情况用局部照明来加强阴影,形成层次,提高立体感,使造型更加丰富生动。并可使用现代照明的调光、调色手段,创造与建筑本色协调的色调,从而达到布光层次鲜明的艺术效果。对高大的建筑可使用泛光照明或内透光方法照明。建筑物的屋顶夜景照明是建筑物照明最突出的部分,应特别注意精心设计。

设计步骤:

1) 夜景环境分析。

2) 建筑特征的分析。

3) 夜景照明的构思及重点照明部位的确定。

4) 主要被照面的用光量(照度水平)的确立。

5) 光源、灯具及颜色的选取。

### 4.4 商业街区的夜景照明

商业街的夜景照明丰富多彩。其特点:一是明亮、照度高;二是灵活、照明形式多样化;三是色彩丰富;四是除路灯外,其他照明设施高低错落、动静结合,融声、光、电为一体;五是灯具的装饰性强。

做好整条商业街的照明总体规划,突出照明重点和层次,做到热烈繁华又井然有序。一般街道两侧的灯饰分三层:高层布置大型灯饰广告,用大型霓虹灯、灯箱和泛光照明形成主夜景;中层用各具特色的标牌灯光、灯箱广告或霓虹灯形成中层夜景;底层用小型灯饰和醒目的橱窗照明形成光的“基座”。另外用变光、变色、动静结合的手法,把路面上的路灯或街边灯饰融为一体,创造一个有机的照明整体,让人耳目一新。

灯光的投射方向应与行人视线构成一定角度,以防止眩光对行人的影响。

对大街入口的构筑物如牌坊、彩门或街名标志小品等进行单独照明设计。

### 4.5 特殊建筑及构筑物的夜景照明

#### (1) 雕塑和纪念碑的照明

为了表现庄重雄伟的气氛,提高瞻仰和观赏的视觉效果,要在雕塑或纪念碑及其周围进行照明。这种照明主要采取投光灯照明方式。在进行照明设计时,应根据所希望的照明效果,确定所需的照度,选择照明器材,最后确定照明器的安装位置。

#### (2) 灯光的布置

投光灯的布置有以下几种方法:

1) 在附近的地面上设置灯具。

2) 利用灯杆。

3) 在附近的建筑物上设置灯具。

4) 利用上述方式的组合。

投光灯过于靠近被照体,就会显出雕塑材料的缺点;如果太远了,受照体的亮度变得均匀,就会显得过于平淡而失掉魅力。因此,应该适当地选择照明器的装设位置,以求得最佳的照明效果。为了防止眩光和对邻近产生干扰,投光灯最好安装灯罩或格栅。

#### (3) 照度标准

推荐照度值见表 7.11-1。在这里投光灯照明的目的是显

示、烘托和渲染，因此这些数值可根据雕塑和纪念碑的类型、地点的环境条件及照明目的作适当调整。

表 7.11-1 推荐照度值

建筑物或构筑物表面特征		周围环境特征	
		明	暗
表面材料	反射系数(%)	照度值(lx)	
明亮颜色的大理石 白色或乳色的粗陶材料 白色石膏抹灰墙	70~80	150	50
混凝土 淡色石灰砂浆、水泥砂浆勾石缝 明灰色或暗黄色石灰石 暗黄色砖	45~70	200	100
稍浓灰色石灰石 浓褐色普通砖 砂石	20~45	300	150
普通红砖、赤褐色砂岩 带色木板瓦、浓灰色砖	10~20	500	200

注 表面反射系数低于20%时，设置景观照明不经济。

(4) 声和光的并用

根据雕塑或纪念碑类型种类，除了光和色以外还可一并用声音效果，做到有声有色，增加审美情趣和艺术效果。这时要对光源调光来改变建筑物的亮度，通过控制回路的开启来改变气氛，并且调节音响使气氛有所变化。因此，控制回路越多，越能表现出不同的效果。

4.6 古建、园林、水景的夜景照明

4.6.1 城墙的照明

古老的历史城墙面积很大，不宜采取均匀照明，而要将重点照明与一般照明结合起来，具体做法如下。

1) 整个墙面从根部到顶部之间沿着它的长度方向，都应该有不同的光强来照明。为了使整个墙面显露出来，墙上要避免出现过暗的区域。

2) 古城墙的重要部位是投光的重点，如瞭望塔、角蹬、城门等。

3) 为了周围环境的美观，常在墙角装上宽光束投光灯，将灯具装在地面下，与地面齐平。投射角根据墙高与灯的距离而定。

4) 为了消除对参观者的眩光和由参观者造成的阴影，投光灯具总是装在墙面与小路之间的地方。如无条件，可将投光灯具装在高架平台上或邻近建筑物上。

4.6.2 古建筑的照明

1) 很多古建筑都具有线条丰富、轮廓鲜明的顶部，可作为景观的重点。可选用泛光灯具布设在檐口上方，沿屋面向上照射。

2) 古建筑檐口下方的柱廊或横梁应提高亮度。

3) 可在建筑窗户内侧设置小功率泛光灯具形成光线不很强的内透光效果，以增加一定的神秘感。

4) 不宜采用与视线平行的正面投射光线。

4.6.3 园林的艺术照明

1) 应根据场所性质及周边环境特点来确定照明方案。公共场所（如公园一般住宅小区、街心公园）因人员流动量多，灯具选择则应考虑到人为的破坏性及安全性能。高档住宅小区、宾馆庭园、广场门前区，则可根据周边建筑环境选择造型及非标型装饰灯（利用石头装饰灯具，既能起到照明效果又达到了艺术小品的观赏要求）。

2) 园区道路照明则应根据园内绿化、建筑风格特点确定。宜在路边绿地内设一定高度的草坪灯，兼顾道路照明。

3) 为了不影响树木的正常生长，多采用埋地嵌入式泛光灯向上照射。

4.6.4 水景照明

1) 目前国内兴起了不少旱喷泉，水下灯光的变化给喷泉增加了色彩。在设计当中，应考虑避免设在水中的灯具出现眩光。

2) 当灯具置于水中时应注意水深对减光的影响。

3) 有条件时可用光导纤维来取代水下照明灯具。由于光源不在水中，使其安全性能大大提高。同时光导纤维可任意变换颜色，运行维护工作量也明显减少。

4) 为使喷水的形态有所变化，可与背景音乐结合而形成“声控喷水”，或采用“时控喷水”方式。

5) 另一种水景是倒影的应用。将灯光投射到桥梁、湖心亭和沿岸建筑上，在水面上形成静中有动的光线映射，给人以美的享受。要注意的是，应运用灯光使照明对象具有完整的轮廓。

4.7 节日主题夜景的营造

一个城市或地区的节日可分为以下几类：

1) 政治性的节日。如国庆节、劳动节、党的生日、建军节等。

2) 民俗性的节日。如春节、元旦、圣诞节等。

3) 地域性的节日。如泼水节、开斋节、藏历新年等。

4.7.1 政治性节日

政治性节日的夜景应以隆重热烈的环境气氛为主，着重突出主题灯箱、灯光标语、公益广告等带有明确政治意义的灯光景观，以显示政治上取得的辉煌成就。政府机关大楼、具有历史意义的建筑或构筑物、大型公共建筑、城市中心广场等应成为整个夜景的重点景观，并应具有一定的主次安排和秩序性。

要注意的一点是我国夏季比较炎热的地区，夜景灯光中红色光的成分应有所控制。

4.7.2 民俗性的节日

民俗性节日的夜景基调则应是以轻松活泼、欢乐祥和为主，以多主题、多手法呈现出丰富多彩的节日气氛。商业街区、民俗庙会和一些具有民俗意义的建筑或构筑物等应作为整个夜景的重点景观。也可以在具备较大建筑立面的商业建筑上设置由霓虹灯、LED等构成的大型动态灯光景观，给人以强烈的视觉刺激，烘托节日气氛。

4.7.3 地域性的节日

地域性节日一般已有各自固定的主题，其活动性质多为具有一定纪念意义的民俗商业集会，因而除主要活动场地外，商业街区依然是重点考虑的对象。

4.7.4 节日夜景的管理

1) 一般节假日夜景照明的开放和管理包括全市范围内的所有城市夜景照明设施（重大节日增加的夜景照明设施除外），包括平日夜景照明设施、建（构）筑物及其附属设施的节日照明（含轮廓灯、泛光灯等）、路灯节日灯照明、营造景观照明（含礼花灯）、广场照明、绿化照明、桥梁照明、住楼照明、雕塑照明、喷泉照明等设施。建议开灯时间随路灯开启，关灯时间在每年5月1日~9月30日期间为每日22:30；在每年10月1日~次年4月30日期间为每日22:00。

2) 重大节日（包括重大庆典活动）夜景照明的开放和管理包括全市范围内所有永久性的夜景照明设施，以及在重

点地区、重点大街、重点景区景点和有条件的单位门前建设和设置一些临时性的营造景观照明设施。建议开灯时间随路灯开启,关灯时间在春节和“五一”期间为每日 23:00;在“十一”期间为每日 24:00。其他重大庆典活动的夜景照明开放日期和时间,由当地市政管理部门另行确定。

#### 4.8 城市广告与标志照明

户外广告和标志照明是整个城市夜景照明的重要组成部分。随着科学技术和社会经济的迅速发展,当今世界户外广告和标志业正在朝着高质、快捷、低耗、电子化、信息化和国际化的方向发展。照明作为户外广告、标志的重要组成部分,随着整个广告、标志业和照明技术的进步,户外广告和标志照明的发展趋势是照明方法和形式多样化。按光源不同,夜景广告可有如下几种形式:

##### (1) 霓虹灯广告

霓虹灯广告问世虽然已有近百年的历史,但由于霓虹灯技术的不断进步,霓虹灯的新品仍不断出现,预计在今后一个相当长的时期内不仅不会被其他照明所取代,而且还会有新的发展。未来 20~30 年内,变色霓虹灯、光纤霓虹灯、彩虹光源霓虹灯、无极霓虹灯和低压电子霓虹灯会相继问世,这对霓虹灯广告照明将是一个有力的促进。除广告外,霓虹灯在建筑物的夜景照明、艺术装饰和信号标志等方面均具有广泛的应用前景。

##### (2) 投光照明式广告

不断进步的广告投光(泛光)照明,其一是照明系统不断更新,出现了卤钨灯、荧光灯、显色性改进型汞灯和金卤灯等多种照明系统;其二是广告投光照明技术日趋成熟,照明设计更加规范;其三,广告投光照明的照度标准,照明的均匀度,使用的光源、灯具和控制设备逐步定型和标准化。

##### (3) 灯箱广告

灯箱广告和标志,特别是柔性灯箱广告以它独特的优势,成为广告照明的新秀,备受青睐,推广应用前景很好。其材料漫透光性好,利用电脑喷绘、写真、丝网印刷及热转印、热成型技术,将各种文字和彩色图案印在背景上,不论是白天或晚上,从各种角度观看视觉效果均佳;其材料多具有强度高、防紫外线老化和抗静电等优点,在无直接破坏或气候影响下,使用时间长;由于灯箱布等材料具有防微生物生长、抗污染、易洁等特点,因此维护管理方便,清洁、检修和更换光源,不需拆卸面板,只需打开灯箱即可进行。

##### (4) 光纤照明式广告

由于光导纤维具有传光范围广、重量轻、体积小、用电省、不受电磁场干扰、频带宽等优点,20 世纪 80 年代以来,世界广告业开始应用光导纤维技术制作广告和标志。

##### (5) 导光管

导光管是独具特色的照明装置。用这种装置制作的广告标志画面图案清晰,色彩鲜艳,检修特别方便,不需打开灯箱,维修人员在地面打开导光管的光源盒即可检修更换光源。

##### (6) 大屏幕显示屏广告

利用单个 LED 发光器件作单元组合而成的大面积矩阵视频显示系统,它的突出特点是画面亮度高、对比度大、色彩鲜艳,而且能与数字网络信息连成一体,构成动态的大屏幕画面,是重要的商业中心的标志性广告发布窗口。

##### (7) 航空障碍标志灯

航空障碍标志灯由于其独特的意义和位置也是城市夜景

中值得注意的一环。航空障碍标志灯的装设应根据地区航空部门的要求决定。当需要装设时应符合下列要求:

1) 航空障碍标志灯的水平、垂直距离不宜大于 45m。

2) 航空障碍标志灯应装设在建筑物或构筑物的最高部位。当制高点平面面积较大或为建筑群时,除在最高端装设障碍标志灯外,还应在其外侧转角的顶端分别设置。

3) 在烟囱顶上设置障碍标志灯时宜将其安装在低于烟囱口 1.5~3m 的部位,并成三角形水平排列。

4) 障碍标志灯宜采用自动通断其电源的控制装置。

5) 低光强障碍标志灯(距地面 60m 以上装设时采用)应为恒定光强的红色灯;中光强障碍标志灯(距地面 90m 以上装设时采用)应为红色光,其有效光强应大于 1600cd;高光强障碍标志灯(距地面 150m 以上装设时采用)应为白色光,其有效光强随背景亮度而定。

6) 障碍标志灯的设置应有更换光源的措施。

7) 障碍标志灯电源应按主体建筑中最高负荷等级要求供电。

### 5 节能与环保

#### 5.1 节能是夜景照明设计的基本方针之一

节能是绿色照明的重要组成部分。设计中应采用各种有效措施达到高效节能,实施绿色照明。

1) 确定建筑物的夜景照明方案时,既要满足照度要求,又要做到节能高效。要根据建筑特点合理选择基本照度(亮度)标准。

2) 选用先进的高效光源。既要满足辉煌夺目,又要满足节能高效。

3) 选用先进的灯具。用高效的灯具提高光源的利用率;采用节能的灯具附件(如镇流器)。

4) 选用先进的控制技术,合理开启灯光;或用控制方法形成动态方案,合理节能。

5) 利用自然环境的自生能源发光、发电(如风力或太阳能发电等),或用蓄光型材料自蓄能发光。

#### 5.2 控制光污染

1) 照明中的光污染是指由非有效光形成对人和各类动植物的正常生活产生不良影响的光环境。

2) 光污染对人的影响。

① 居住区的夜景照明和道路照明应照不到居室的窗户上。

② 夜间城市住宅区住宅窗上的垂直照度应不超过 10lx,商业区则应不超过 25lx。

③ 夜间城市住宅区的干扰光强应不超过 10 000cd,商业区则不应超过 25 000cd。

④ 为防止对行人产生不良影响,杆上灯具应满足表 7.11-2 的要求。

表 7.11-2 杆上灯具

灯具高度 (m)	灯具在 85°垂直角方向的发光强度 (cd)
$h \leq 4.5$	$I \leq 2500$
$4.5 < h \leq 6$	$I \leq 5000$
$6 < h \leq 10$	$I \leq 12\ 000$
任何高度	灯具在 85°垂直角方向的亮度 $L \leq 20\ 000\text{cd/m}^2$

⑤ 道路两侧的各类照明装置的颜色和亮度要与交通标志信号灯严格区分开,以避免驾驶员判断失误。同时也要限制汽车在城市道路上远光灯的使用。

⑥ 严格防止眩光污染。眩光是对生理与心理影响最严重的光污染形式,应控制直接眩光和反射眩光(光幕反射)。

3) 光污染对动植物正常生存的影响。

① 灯具的安装位置应尽可能远离被照射的植物。

② 控制对绿色植物的照明光强和照射时间,尽可能减小光源功率。

③ 使用对周围动植物危害和影响最小的光源(见表 7.11-3)。

表 7.11-3 对周围危害和影响最小的光源

光源种类	对昆虫的危害
标准光源(白炽灯)	1.00
低压钠灯	0.04
高压钠灯	0.35
日光色荧光灯	1.13
高显色型荧光灯	1.19
金属卤化物灯	1.35
荧光高压汞灯	1.87

4) 上射光。

① 一般地区室外灯具的上射光通与该灯具总光通量的比值应满足表 7.11-4 的要求。

表 7.11-4 上射光通与总光通比值

区 域	上射光通占灯具总光通量的比例(最大值%)
E1(非常幽静的区域)	0
E2(低亮度环境的区域)	5
E3(城镇居住区)	15
E4(有夜间活动的城镇商业区)	25

② 天文观测站附近,应按其规定严格控制上射光线。

5) 反射光。

① 表面的亮度应满足下列要求:背景较暗时,表面亮度值不宜超过  $4\text{cd}/\text{m}^2$ ;背景为中等亮度时,表面亮度值不宜超过  $6\text{cd}/\text{m}^2$ ;背景较亮时,表面亮度值不宜超过  $12\text{cd}/\text{m}^2$ 。

② 合考虑光源色调与建筑物表面的色调对比;根据光源位置及光衰减系数确定合理的光强、光通量;充分考虑被照表面污染后的光反射效果。

## 6 园林景观元素的照明

对于如何划分景观中的元素,各种理论及规范的分类标准不一。对于园林景观照明来说,大致可以概括为交通空间(道路和台阶)照明、停留空间(广场和休闲空地)照明、软质景观(植物及瀑布、水池、河流、滨海地带等特色地貌)照明、硬质景观(喷泉、山石、室外雕塑、建筑小品)照明。需要注意的是,园林景观照明不是对相关元素进行简单照明的叠加,而是要对它们进行有机组合,创造出如诗如画的宜人夜景。

交通空间的照明职能是保障交通的安全和有效,停留空间的照明职能是创造舒适的休闲环境,软质景观和硬质景观的照明职能则以创造视觉舒适和愉悦美感为主。以往的规范和设计准则常常是孤立地分析问题,以各种数字指标为设计依据;本章则围绕园林景观夜景的核心——视觉问题展开论述,在数量标准的基础上提出质量标准。四类景观元素虽职能不同,但都是构成视觉环境的一部分,特别对于交通空间和停留空间,从视觉角度切入分析是摆脱规范束缚,创造特色园林夜景的前提所在。图 7.11-1 为菖蒲河公园照明设计过程中,为研究倒影形成方式及观赏角度而绘制的分析图,对于各景观元素进行了综合的视觉分析。对于可能产生倒影的表面进行分析,能够优化灯位,将设计理念贯彻到设计、安装、调试的全过程中,甚至为植物的选型和定位提供了宝贵的意见。

### 6.1 交通空间照明

城市街道通常是园林景观与其他室外环境的分界线,既为进入园林的游人提供了视觉上的准备,同时也常作为园林边缘区域的视觉背景。传统意义上,街道照明被简单认为是照亮人行道,从而使司机能发觉道路的危险状况,以实现交通事故率最小化。当前的街道照明设计准则(IESNA RP-1984)已深入一步考虑了道路的分级(如居住区街道或公路)和亮度级。而街道照明最重要的功能,是改善驾驶员和步行者的视觉清晰度,同时连续给出有关夜间周围环境的信息。照明设计师在开始设计之前,应该对园林景观周围的城镇交通空间进行考察,这能够帮助确定园林内部交通空间的亮度水平及光色构思。

园林景观区内部的交通空间以人行道和台阶为主,提供了在景观中移动的路径。本章介绍了在规划人行道和台阶照明时,为达到同其他景观元素协调统一所需考虑的问题。

#### 6.1.1 人行道照明

对于既有项目,在设计之前应尽可能地沿人行道以各种理论上的行进路线考察基地,结合与建筑设计师的交流,以照明设计师特有的方式解读各种交通回路的设计意图。对于各条道路进行归纳和整合,尽量从不同角度对道路进行分类,这个过

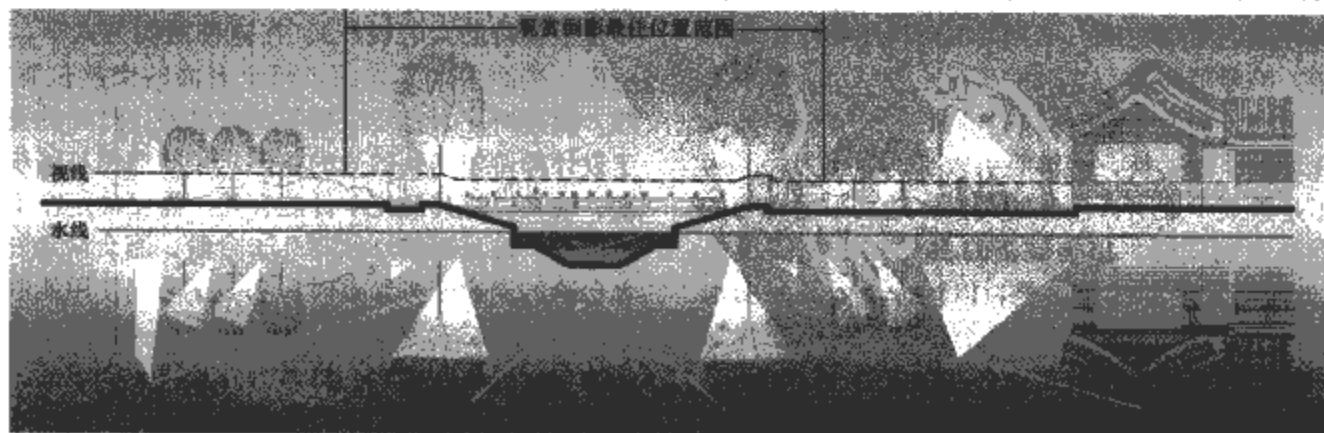


图 7.11-1 菖蒲河公园照明设计剖面分析图



程至关重要。切不可简单地以路宽、人流量、移动速度、地面反射率等传统分类方式进行分级,这很容易导致设计的千篇一律,而忽视了对于园林景观最为重要的个性和风格。

IESNA 规定:不靠近交通道路,有极少量的非步行方式交通量的散步道,不必有连续的照明;只有像梯级、高度突然变化、桥梁和转弯处这些在散步道上的危险区域应连续照明;照亮散步道任意一侧的景观也是一种可行的方法;仅在人行道终点或休息点照明是另一个有效的方法,这个方法给出重要目的地方位的视觉提示;位于公园或大的景观区域中间的人行道(见表 7.11-5)不必连续照明;园林景观中需要保证关键的景观元素、选择照明的建筑或掩蔽体、休息点和任何有危险的人行道区域得到照明,当整个公园景观被照亮时,行人有足够的时间可看清潜在的危险。设计师需要经过仔细的照明设计,来减少灯具可能产生的失能性眩光,并避免被照明的物体在某些视角产生剪影效果。

表 7.11-5 人行道推荐维护照度水平

人行道和自行车 专用道路分级	人行道的最低 平均水平照度 lx <sup>①</sup>	对于人身安全有特殊要求的 人行道的平均垂直照度 lx <sup>②</sup>
人行道(旁道)		
商业区	10	20
商住混合区	5	10
居民区	2	5
远离交通道路的人行道		
人行道	5	5
行人楼梯	5	10
人行地道	43	55

① 均匀系数(最小值与最大值之比)应不小于 1:10。

② 针对在一定距离上行人的识别,该数值为人行道之上 1.8m 高处的数值。

(选自 IESNA RP-33-99,人行道和 1 类自行车专用道路的推荐照度)

照亮步行路所需考虑的基本问题是安全和美学。可能的照明方式包括从月光照明到简单的按照城市法规规定的最小照度水平布灯的各种方法。保持园林景观的外观,保证建筑物及标识最为吸引注意力,保证游人的舒适是照明最终的目的。照明设计师应当根据路的类型选择照明水平、照明图式、灯具类型。蜿蜒的步行小路,用于享受朋友结伴而行的乐趣及欣赏景观,需要使用低于人身高的小尺度灯具,提供较低的照度水平,平均的照度分布并不是必需的。那些预计老龄参观者占有很大比例的景观道路,需要将光与影的对比降至最低。随着道路级别的升高,需要更高的照度水平以及更均匀的光分布,灯具的尺度也逐渐增大,灯具本身的实用性倾向和装饰性倾向更加明确。不当的明暗构图将令参观者发生视觉混淆,隐藏障碍物和来自于步行路的危险,导致游人集中精力于走路,而不是欣赏美景。均匀的光分布同光与影的构图相比增加了舒适性,能够吸引较少的注意力,因为通常小路并不是景观中最引人注意的元素,适宜采用均匀的光分布;规划灯具的间隔,以使临近灯具的扩散范围重叠(将两个相对低照明水平的部位重叠,以同灯下的高照明水平部位平衡)。眼睛可以分辨出 4:1 的亮度比率,据此规划灯具的间隔,将路面光分布控制在这个范围之内。

用于园林人行道的灯具可以分为两个基本类型:从装饰性出发作为景观元素的灯具,和从功能性出发在隐蔽位置提

供照明的灯具。如何选择取决于照明设计的风格或设计概念,以及项目需要(灯具安装位置的可行性)。某些建筑的风格要求使用装饰性灯具,照明设计师、景观建筑师或者业主对于灯具是否作为景观元素出现以及采取何种装饰风格,有很强的个人主观见解。可见装饰性灯具在白天和黑夜都发生作用,必须给予考虑。对于公共空间,灯具通常作为总体的空间识别的一部分,创造空间的活力。

安装在构筑物(围墙、格架、凉亭等等)或是树木(树干或大的枝条)上的下射照明灯具属于功能型灯具。这种照明要求合适的安装位置,比如沿着屋顶结构悬挂安装,照亮沿着建筑的小路。很多场合使用成行的装饰型灯具并不理想,它们可能创造了过于强烈的视觉印象,并且花费过多,现有花园必须重新布线。这些场合使用下射光代替灯具作为景观中的元素,也许更为合适。几只下射灯可以提供平均的路面照明,灯具离地面的距离很高,可以覆盖较大的区域,同时可以将路面照明与植物照明结合起来。

制造商们开发了不同风格的灯具供设计师选用。图 7.11-2 为具有典型风格的几个品牌,分别代表了严谨的德国精神、浪漫的意大利精神和注重传统的美国精神。对于装饰型灯具的使用,需要超越灯具的美学外观,评价其尺寸、尺度、构造、光分布。过大的灯具对于环境是干扰性的,过小的灯具也很难与景观协调。灯具过高显得瘦长,感觉脱离空间;过矮则往往不能保证效果。

#### 6.1.2 台阶照明

建筑师和景观设计师通过对踢面和踏面的尺寸、间隔、材质、构造的设计来表达其意图。多数台阶是便于攀爬的,而有些台阶是难以辨认的,目的是使人放慢行进的速度。照明不仅要关注台阶的物质形态,还要关注使用者的攀爬过程,更要努力传达景观设计的意图。

台阶照明的核心问题是通过光线保证区分踢面和踏面。踏步是否容易分辨取决于踏步选用的材料、色彩,更主要的是由光所强调出的视觉对比。踢面与踏面在视觉上的构图韵律应该是稳定的,行人可以凭着走过最初几步台阶的经验完成行进,将更多的注意力用于欣赏景致。很多起拱桥梁的踏步照明缺乏规律性,游人凭视觉经验不能完成行进,很多欣赏景致的最佳角度就在低头看台阶的过程中错过了。设计师应该综合考虑照度水平、台阶材料的反射特性以及环境光的水平,选择合适的光源和灯具,根据所选灯具的配光曲线,对最终效果做出预判。只要踢面和踏面保持合理的视觉对比,能够轻易被行人察觉,照明设计就是合理的。这意味着台阶照明存在很多的可能性,根据光线的投射方式可以分为如下三种类型(见图 7.11-3):

##### (1) 来自于台阶侧面

当台阶侧面布置有墙体时,可以选择将灯具布置在侧墙上,灯具与台阶的垂直距离通常在 1.5m 以内(位置过高将干扰上台阶的人的视线)。在这种照明方式下,踏面为主受光面,踢面为次受光面,两个表面的交接位置会形成一道线,视觉对比来自于表面间的亮度差。灯具的安装高度取决于设计师希望得到的光的构图,光的构图与踏步的长度和宽度、墙高、灯具的光学性能有关。需要确定在不产生阴影的情况下,每只侧壁灯照亮几步台阶。当台阶超过 1.2m 宽或者台阶的交通任务繁重时,考虑在两侧使用侧壁灯。宽台阶的踏面并不一定要求均匀的照明分布,台阶用途和交通流量是均匀度的决定因素。灯具的外观需要同墙面、台阶的设计相协调,与景观设计保持统一的风格。灯具过小或者安装高度在视觉上失衡,都会影响视觉效果。

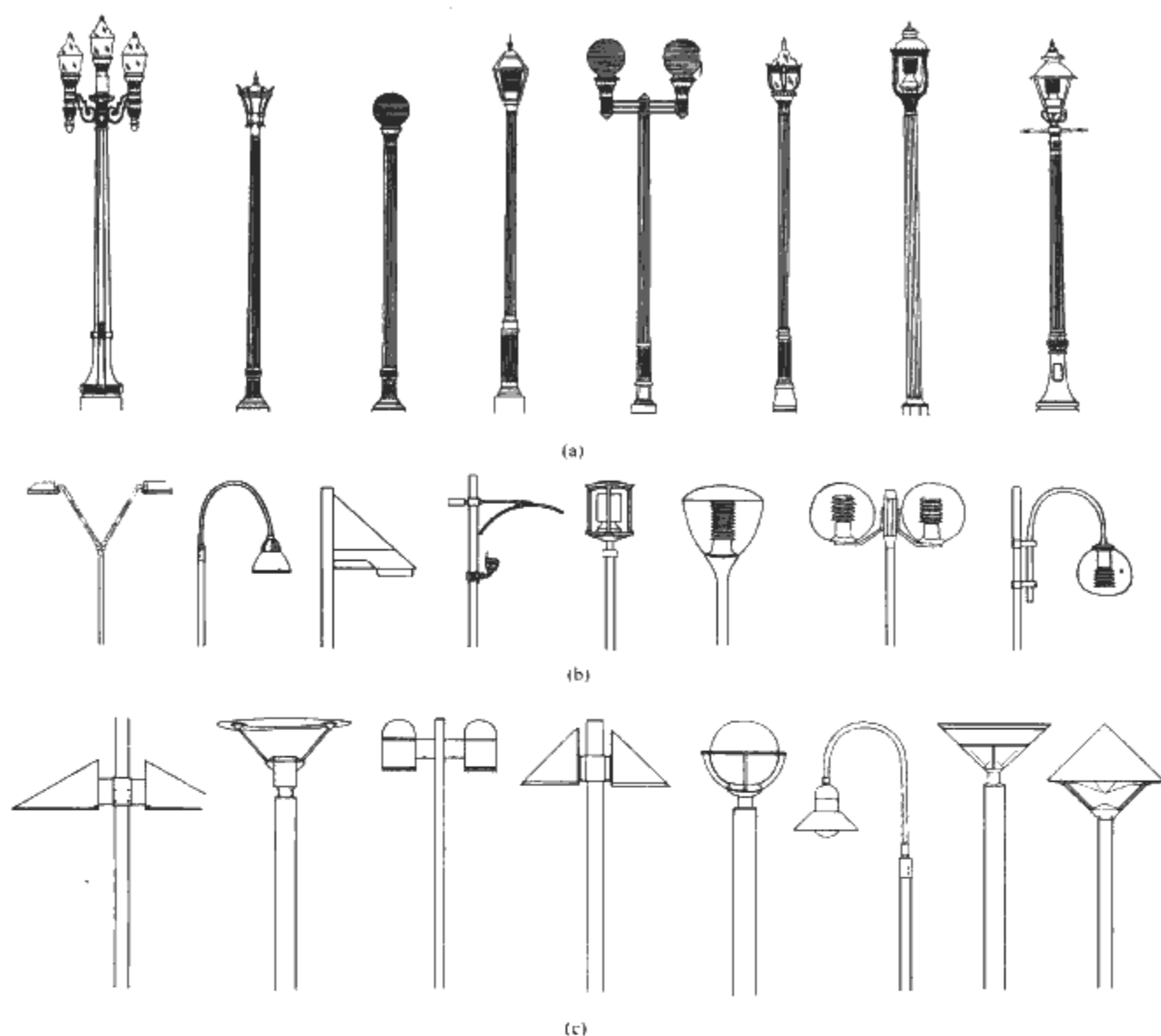


图 7.11-2 不同风格的庭院灯

(a) 美国; (b) 意大利; (c) 德国

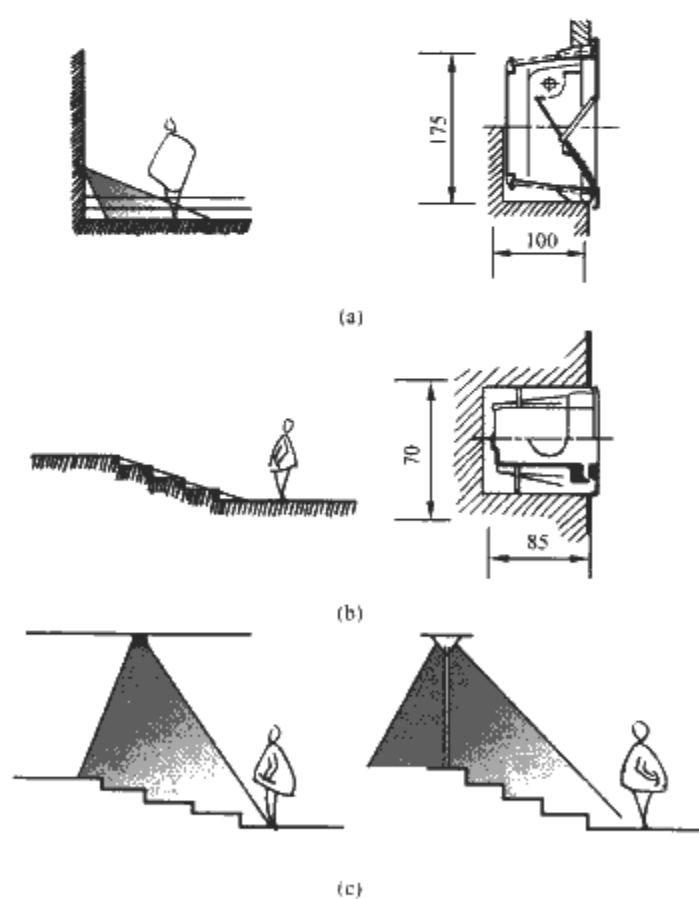


图 7.11-3 台阶照明的三种方式

(a) 光来自于台阶侧面; (b) 光来自于台阶踢面;

(c) 光来自于台阶上部

## (2) 来自于台阶踢面

安装于踢面的灯具有两种形式——嵌入式侧壁灯和暗藏式线性光源,这两种灯具不能突出踢面,否则会干扰行进。

嵌入式侧壁灯仅适用于空腹台阶,不适用于石砌台阶或已有台阶。它在灯下的踏面形成光斑,踢面的亮度来自于光斑反射,灯具通常使用格栅或乳白玻璃降低表面亮度,行人对台阶的判断通常是依据光斑和灯具的亮度图式。此种灯具可以逐级使用,也可以每隔几步设置。需要注意的是灯具间的准确对位,并保持亮度图式的规律性。如果有灯具失效,需要及时更换。

暗藏式线性光源可以是侧发光光纤或美耐灯,以及线性荧光灯带。一种布置情况是在踢面形成亮线,以此同踏面区分;另一种布置情况是暗藏于挑出的踏板之下,照亮踏面,并在踢面上形成退晕光斑。由于此类光源具有可变色及可闪动性能,很多业主希望在台阶照明中采用这类效果;而出于安全和不影响景观的考虑,建议在园林中的台阶照明保持稳定的状态。

## (3) 来自于台阶上部

由于布线方便、构造简单且无需对已有台阶的构造做出改动,上部照明是园林中经常使用的照明方式。光线可以来自于台阶正上方安装于树木或构筑物上的灯具,也可以来自于台阶侧上方的庭院灯具。所有的下射照明都存在将台阶照明与景观中其他元素的照明结合起来的可能性,在照亮台阶的同时照亮植物,用最少的灯具创造最丰富的照明效果。这种照明方式成功与否的核心问题是灯具与台阶的相对位置关



系，尽可能不要在踏面上产生阴影。

台阶照明有一条不成文的原则：在同一个项目中，对于同类做法的台阶应该尽量采用同样的照明方式。因为行人是根据视觉经验做出判断，如果出现了混淆的信息，很可能导致判断失误，甚至造成危险。对于交通空间的照明，保证游人安全永远是处于第一位的。

6.2 植物照明

植物照明在概念上与其他元素照明不同，光线既是植物生长的要素，又是创造视觉效果要素，照明设计应该饱含着对植物的关爱和理解。对于园林能否可持续发展，人与植物能否和谐共生，照明设计师肩负重任。本节从植物生长对光线的要求入手，分析了在室内与室外两种不同环境下，园林植物对照明的要求，以及如何在不影响植物生长的前提下创造最佳的园林视觉环境。

6.2.1 植物生长对光的要求

光的数量（辐射的强度和时间）、质量（光谱能量分布）、辐射周期、辐射方向，会影响植物的健康，设计之前需要了解植物在自然界中的光环境。当然，对于植物的健康来说，光也只是决定因素之一，照明设计师需要意识到所有其他要素对植物的生长同样具有重要意义。

(1) 辐射强度

评价光的水平需要使用照度计。照度计能够对适宜园林植物的照明水平提供大致的指导。表 7.11-6 提供了基于日光水平的照度范围，将被作为维持值进行计算。

表 7.11-6 基于日光水平的照度范围		
遮蔽全部阳光 (lx)	低水平	750~1500
遮蔽部分阳光 (lx)	中等水平	1500~2500
全部阳光 (lx)	高水平	2500~3500

(2) 辐射周期

植物具有固有的“时钟”和“日历”，它们对于时间的响应基于光的数量和质量。植物在一天中的功能持续 24h，包括 12~16h 的光亮以及 8~12h 的黑暗。光触发植物功能的开始和结束。植物在 24h 周期中经历的黑暗的时间触发几项功能，主要影响植物生长及开花。对于植物来说，黑暗对于日常功能是必需的。当植物不能得到黑暗中的休息周期，它们将发展出生理上的压力，易于被很多疾病感染，可能变得十分虚弱，直至死亡。红光（峰值 660nm）的亮暗周期在对于植物生长的影响中扮演了重要的角色。

室内外园林出于夜间使用的需要，有时必须对植物进行照明，对于植物辐射周期的干扰不可避免。首先，要保证在开放时段外，尽量关闭所有植物照明灯具；其次，应选择对辐射周期要求不严格的植物进行照明，并选择辐射光谱对植物的生理周期影响小的光源。

(3) 光谱能量分布

植物生长的另一个关键因素是光的质量（光源的光谱组成）。植物对电磁波谱的响应与人不同，植物需要可见光范围内的所有能量，以满足不同的生理需要。植物对光谱的响应在一定范围之内，波长超过 1000nm 的辐射没有足够的能量激发植物发生生物学的过程，但在一些情况下红外辐射能量能够灼伤植物。在波长 320nm 以下，电磁波具有足够多的能量对植物的生物感光器造成破坏。

科学家尚未清楚地理解植物对于光的所有生物响应，也并不确定能否对其进行划分。可以肯定的是，植物的光感受器能够触发植物对不同光谱的不同生物功能。三个明显的波

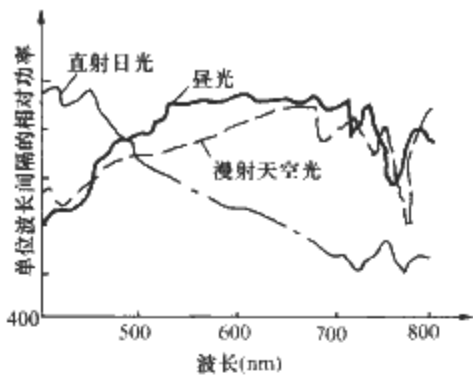


图 7.11-4 日光及其组成——直射日光、漫射天空光的光谱能量分布曲线

段是：380~500nm 的蓝光、600~700nm 的红光和 700~800nm 的远红外线。对于植物的不同功能来说，每个波段所需的辐射量也不同。

1) 多数的蓝光感受器对近紫外敏感（370nm）。蓝光的响应影响着植物的几个功能，比如向光性能和生长形式。缺乏蓝光可能造成植物倾扶，变得稀疏细长，长出反常形状和尺寸的树叶。植物或植物的一部分会朝着或背着光线生长，称为植物的趋光性。发生这种现象的原因是存在或缺少 400~480nm 的蓝光。要求高照明水平的植物将向低照明水平的光源倾斜；另外，喜欢阴影的植物，将背向高照明水平光源弯曲。这些现象有时可以通过增加光的数量来避免，在室内园林中使用含有蓝光光谱的人工光源是最好的选择。合成叶绿素，创造植物的绿色，发生在红光（650nm）和蓝光（445nm）时。这种光缺少几天，植物会开始失去绿色，变得枯黄。

2) 阴影对于植物接受到的光有很强影响。强度的降低是明显的，但是这种倾向于蓝辐射的改变对于植物的活性只有很小的影响。来自于一个单调物体（如建筑物或雕塑或其他景观要素）的阴影，事实上并未明显地影响光谱，只是降低了照明的水平。相反地，来自上层植被的遮挡强烈地影响了下层植被的受光量和光谱：在常绿阔叶树下生长的植物受到的辐射峰值是绿，在那些松叶林下生存的植物受到的辐射峰值是蓝。要求照明设计师理解光线如何达到那些低矮植被表面，然后确定这些植物是否接受到了适宜自身生存的光谱。

天空光的光谱从晴天到多云天，从早到晚，从一个地理区域到另一个地理区域，每天每年不断变化。对于植物生长，建议的光谱能量分布只是一个参考值，而并非绝对值。

表 7.11-7 木本植物对人工光的敏感度		
高敏感度	中敏感度	低敏感度
挪威枫木	黑糖槭	欧洲山毛榉
加拿大桦（黄桦）、纸皮桦、灰桦、欧洲白桦	鸡爪枫	白云杉、黑云杉、科罗拉多蓝叶云杉
角树	红槭	银杏树
美洲山毛榉	糖枫	美国冬青
郁金香树	美国紫荆	美国枫香
小无花果树	铁木	广玉兰
三叶杨	白栎	英国针枞
铁杉树	红橡木	美国白蜡树
美洲榆树、西伯利亚榆树		北美油松

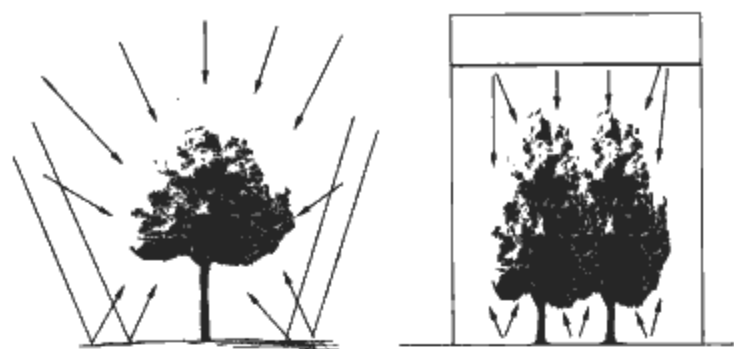


图 7.11-5 室内园林照明对于室外自然状态下植物光环境的模拟

### 6.2.2 室内园林中的植物照明

1) 在有天然光的室内园林中, 尽管光可以直接照射到植物上, 但是光的质量和数量都明显大打折扣。天窗材料的色彩也直接影响植物吸收的光谱。设计师需要从制造商那里了解材料的特性——反射和透射数据。有时候, 接收到的自然光是可以忽略的。人工照明系统需要提供足够的光以满足植物生长的需要。

2) 对于光谱的影响, 设计师要给予足够的重视: 第一, 设计师需要掌握植物在室外自然界环境中生长所需的光谱组成; 第二, 设计师需要确定植物在室内园林中所接受到的光谱可以与之相比。光谱的选择影响光源的选择。最适于植物生长的光源是镀膜的金卤灯: 它在植物所需要的三个波段提供能量, 其近紫外能量对植物十分重要; 金卤灯也提供高的光输出; 另外镀膜产生了近似于天空亮度的漫射光。

3) 植物一旦被用于室内, 就要做好准备接受比室外低的照明水平。可以通过布置喜阴植物, 或通过改变喜阳植物的适应性能来实现。专业的栽培者能够对于所使用的植物的尺寸和类型推荐适宜的适应周期。在适应过程中, 允许植物落下其向阳生长的叶子, 生出新叶——喜阴的叶子。喜阴的叶子生长周期更长, 叶片更大更薄, 通常呈暗绿色。

4) 在为室内园林设计照明时, 另一个需要考虑的因素是光的方向。每年每天, 自然界中的植物接收来自不同角度的直射日光, 也接收来自不同角度的天空光, 还包括来自地面和其他环境表面的反射光。室内植物同样需要接收来自所有方向(包括下方)的光线。在植物顶部使用一支灯具很难模拟自然状态, 要求使用能够照射树木顶部、侧部的多支灯具, 有时用上射光模拟自然状态的底部反射光, 也是不错的选择。

总体来说, 室内园林中的植物照明与室外园林中出于夜间美学考虑的植物照明不同。设计师在接手项目以后, 要小心谨慎地规划植物照明, 使其适应植物的需要。

### 6.2.3 室外园林中的植物照明

植物是生命体, 照明技术是工业文明的产物, 植物照明由于人的需要而变得理所当然。照明设计师可以在用光、控光、送光的过程中游刃有余, 但不能忽视提供人类视觉享受的植物同样是大自然所恩赐。植物照明的最高境界, 是在充分尊重植物的基础上, 传达出人文的关爱和共生的理念。在园林夜景的构成中, 植物扮演着重要的角色: 植物之美是动态的, 传递着生老病死的情感; 植物之美是周期性的, 随着季节的流转而不断变化; 植物之美是因人而异的, 为欣赏留有足够的空间。所有的创作构思和照明技术均基于对植物的理解, 这是本节的核心思想。

(1) 对种植清单中列出的植物进行评估

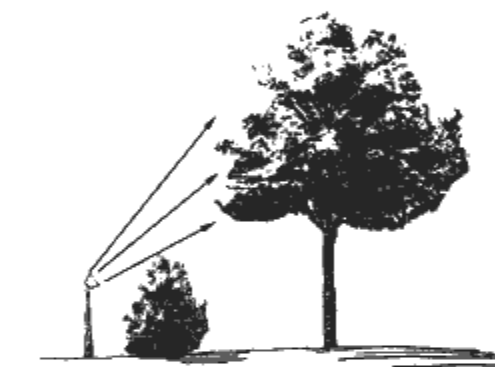
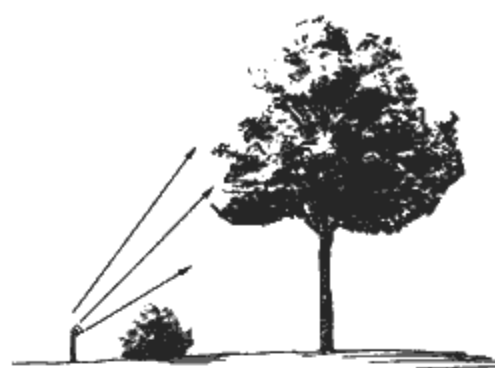


图 7.11-6 灌木生长对树木照明的影响。  
下图为正确的设计方案一对灌木的生长做好充分的准备

种植平面上列出的所有植物都应给予考虑, 无论是否给予其照明。仔细研究所有植物, 将使照明设计者完成对于夜景形象的想象。常见的观赏植物分为观赏蕨类、观赏松柏类、观形树木类、观花树木类、观赏草花类、观果植物类、观叶植物类、观赏棕榈类和竹类。研究所有植物的这个过程, 将有助于区分哪些植物需要被照亮, 帮助理解景观中植物之间的关系, 梳理出植物与照明装置之间潜在的矛盾。例如, 生长在被照植物和光源之间的植物可能并不是最初就使光的分布遭到破坏, 但是经过一段时间之后, 它将成为光与被照植物之间的障碍物。而从这株植物遮蔽光线以后, 光照到遮蔽物上的照度水平将会很高, 产生了“高光”, 进而影响那些更重要元素的表现。

#### (2) 植物照明的规划

1) 根据园林夜景的总体构思对于种植区域进行划分。白天和夜晚的重要区域可能不同, 景观中的视觉焦点(主要的或次要的)、过渡元素和背景元素要重新划定。

2) 根据总体构思确定每个区域的亮度等级和光色特征。对于每个种植区域, 要决定植物是以温和的还是戏剧性的方式出现。焦点区域与周围环境的亮度比应该在 5:1~10:1 之间。

3) 初步确定每个区域所需灯具的数量和能耗(将叶子的颜色和反射比考虑在内), 结合能源供给和预算进行校核。

4) 根据预期效果对于具体位置的具体植物进行深入的



图 7.11-7 光与植物的位置关系  
(a) 表现整体选型的前白光; (b) 表现主干纹理的前白光; (c) 侧白光; (d) 背光

照明设计。

### (3) 植物照明的设计

在园林中出现的每株植物都是整体的一部分, 扮演着各自的角色: 一些扮演主要角色, 一些扮演次要角色或配角, 很多植物是黑暗的一部分。设计师必须决定: 一棵植物是否保留其白天的景象, 或者当夜晚被照亮时创造一种新的景象。用于特定植物的照明技术取决于两个方面: 植物在夜景整体中扮演的角色和期望它达到的视觉效果。可供考虑的变量包括光的投射方向、灯具位置和照明的量(数量和质量)。

光的投射方向可以概括为上射光、下射光和侧向光。光的方向影响着植物的外观。下射光在植物叶子的下面产生阴影, 模仿太阳或月亮照亮植物的效果, 也可以模拟多云天的场景。上射光通常将改变植物的外观, 使之不同于白天的景象, 通过穿透树叶的光线使树体发光, 在树冠的顶部产生阴

影, 强调出质感和形式, 创造出戏剧化的视觉效果。

灯具的安装需要考虑光源位置同植物位置的相对关系——在前面、侧面、后面或是这些位置的组合。这将决定植物呈现出来的形状、色彩、细部和质地: 前向光表现形状, 强调细部和颜色, 通过调整灯具与植物的距离以减弱或加强纹理; 背光仅表达形状, 通过将植物从背景中分离出来以增加层次感; 侧光强调植物纹理并形成阴影, 通过阴影的几何关系将不同区域联系在一起。

光的数量应参考该植物在整体景观中的重要性, 设计亮度通常与重要性级别成正比。唤起人眼产生视觉的是反射光, 必须考虑植物的反射性能。设计者对于植物的与光线相关的生理机能也应给予足够重视, 特别是光源的光谱能量分布和植物受光照的亮暗周期。除此之外, 还要确保灯具的散热不会损害植物。

## 6.3 水体照明

水是园林景观不可或缺的元素。瀑布、水池、河流和滨海地带等地貌特色属于软质景观, 喷泉属于硬质景观。由于水体照明在原理和规范方面有着共同的要求, 本节将两种类型的水体照明综合起来讨论。水面在制造各种氛围的同时, 也蕴涵着危险, 保证安全是水体照明的前提条件: ①在吸引游人亲水的同时暗示潜在的危险; ②保证照明设备的电气安全。

### 6.3.1 设计原理

水对光线有三种不同的影响方式: 折射、反射和漫射。

光线由空气入射到水中, 会发生折射(改变方向), 反之亦然。这就是人会感到水下物体的位置明显发生移位的原因。当光从水中进入空气中, 与垂直方向所夹角度将增加。在水雾或湍急的水中, 折射会形成彩虹或闪烁的光芒。当灯具装于水下侧墙时, 折射可以用来隐藏光源的亮度。

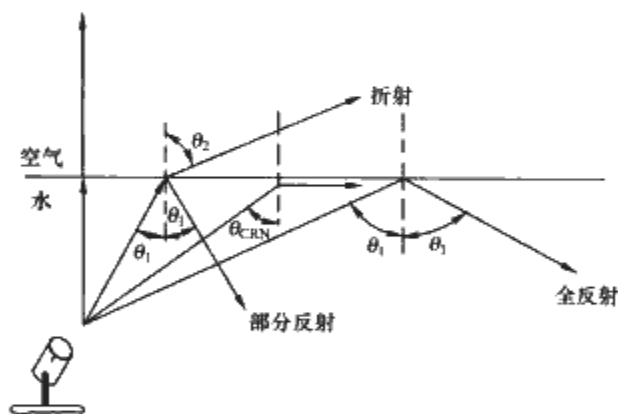


图 7.11-8 水下照明的几何原理  
( $\theta_1 \geq 48.8^\circ$  时发生全反射)

光线照射到水面时, 也会发生反射: 它改变方向重新回到它穿过的空气中。水变成一面镜子, 入射角等于反射角。这是设备安装所应考虑的一个重要条件, 因为照明设备可能作为反射图像在水池中看到。当光线从静水下向上照射时, 反射在展现被照结构时起到一定作用。如果入射角大于“临界角”(约为  $48^\circ$ ), 全反射将会在水面发生。

由于水体中悬浮的微粒和气泡的存在, 一定量的光会漫射掉。这是因为当光线穿过水体照射到微粒或气泡时, 光线会反射到不同的方向。这有助于泛光照亮泳池底部。这种情况有利与否, 主要依预期效果而定。例如, 如果照射喷泉底部的装饰瓷砖, 漫射可以减弱光的强度, 使水显得很暗, 因此模糊了瓷砖的图案。

平滑的水中没有气泡, 光线或者穿过水体, 或者反射回

来,取决于光的入射角度,因此平滑表面的水需要从外部照亮。汹涌的液体混合了气泡,气泡对光线的漫射使水表现为闪光的效果,因此光源必须直接放在水下。

### 6.3.2 水下照明

水下照明的首要目标是隐藏灯具,不需要正好消除光源的亮度,但是必须避免看到所有的线路和连接装置,以及所有可能影响水体外观的装置。

当灯具置于水下时,光和热对水下生存鱼类会造成影响。设计师需要规划一些位置供鱼类摆脱亮光,例如在池底保留一些无光的区域。很多水下灯具采用的白炽光源产生了大量的热,当水体足够大或者设有机械系统能够监测和控制温度时,热的影响才能忽略。

水体的几何尺寸决定了光源的功率和光束角。高的瀑布和喷泉使用聚光灯,矮或宽的瀑布和喷泉使用泛光灯。泛光灯适用于大的单个喷头或者小的多效喷头,宽光束泛光灯适用于大的多效喷头。

表 7.11-8 水下照明灯具的功率选择表  
(LITHONIA LIGHTING)

光分布	水体高 (m)	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15
	水体高宽比	光源功率 (W)									
宽光束	1:1	250	500	1000	2000	3000					
中光束	2:1	150	300	500	900	1000	1500	2000			
窄光束		150	150	250	300	500	600	1000	1200	2000	2000

白炽光源易于控制,可供选择的功率范围广(50~2000 W不等),是水下灯具主要使用的光源。包括长寿命白炽光源,PAR系列(38、46、56、64),各种类型220V卤钨光源,以及低压的MR16和PAR36类型。体积小和光输出高的光源得到广泛应用,见表7.11-9。

表 7.11-9 水下光源指南 (LITHONIA LIGHTING)

照明输出 (近似值)	220V 灯具		低压灯具		应用范围
	光源 (W)	寿命 (h)	光源 (W)	寿命 (h)	
最低 800	T4,100(QH)	1000	PAR36,50W	2000	小型喷泉、小型水池、大喷泉的单个喷头
	A21,116	8000			
	PAR38,250	6000			
	T4,150 (QH)	3000			
			MR16,75W(QH)	4000	
	PAR46,200	2000			中型水池和喷泉
	PAR56,300	2000	PAR56,300W	1000	
	T4,250 (QH)	2000	PAR56,300W	1000	
	RSC,300 (QH)	2000			
	T3,300 (QH)	2000			
最高 20 000	PAR56,500	4000			大型水池和喷泉
	RSC,(QH)	2000			
	PAR64,300(QH)	4000			
	T4,500(QH)	2000	PAR56,300W	1000	
	PAR56,500W(QH)	4000			
	PAR64,1000W	4000			
	PAR64,1000W(QH)	4000			

水下灯具必须能够承受腐蚀环境,所用材料通常是铜和不锈钢(见图7.11-9)。

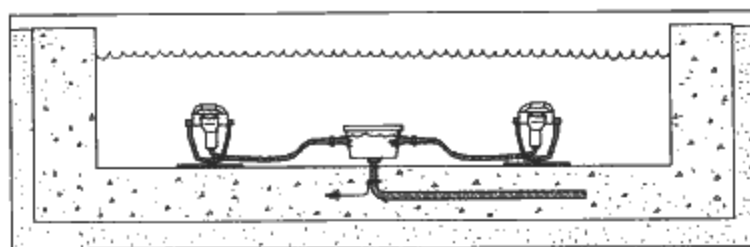


图 7.11-9 水下灯具的典型安装构造示意图

水能滤掉蓝光,灯具在水下越深,光色变得越黄。彩色滤光片是重要的灯具附件,使神奇视觉效果的创造成为可能,但同时减少了光输出。滤光片的透光率信息是设计的参考条件之一,黄色滤光片透光率为50%,蓝色滤光片透光率为12%,设计师要对光源的选择和灯具的数量做出相应调整。

水下灯具依靠周围的水为光源散热。必须在水下足够深,并且总是浸入水中,但是上射灯具要尽可能靠近被照表面,推荐的水面以下最小距离为5~10cm。同时,灯具需要有低水位切断装置,当没有全部浸入水中时,灯具将不能持续进行工作,否则会造成棱镜爆裂或者光源寿命降低。

由于流体的作用力,水下灯具需要牢固的锁定装置,以保持设计的角度。

水下灯具需要在水面以外进行维护,大的水池需要借助船只进入,浅的水池允许涉水进入。无论是移出灯具还是排干水,都是较为昂贵的维护方式。

光纤的独特性能非常适用于水下照明。端发光光纤的端头可以吸附或是嵌入到落水台阶中,创造光点效果;侧发光光纤常用于水池的沟边。光源发生器应放置在水体以外且能看到光纤效果的位置,以便于调试和维修。

LED越来越多地应用于水体照明,特别是喷泉照明。它的优点是体积小、寿命长和变色灵活。设计的难点在于色彩的控制,水对不同波段光的漫、透射性能不同,不能参照通常情况下的配色方案。

### 6.3.3 喷泉照明

喷泉的形式多种多样,但是下列照明设计要点应该在所有的类型中得到考虑。首先,确定喷泉的哪些部分需要照明——是水还是构筑物,并掌握喷泉周围照明的视觉形状和类型。如果需要色彩,那么其他的照明绝不能过亮或减弱色彩效果(见图7.11-10)。

1) 设计之前,必须明确喷泉或水体演示系统的构造,包括喷射口的数量、水的图式效果以及每种效果的几何尺寸。设置照明设备时,应该考虑几个因素,包括临界角、视角,以及设备是在水面上还是在水面下。安装设备时,确定照明设备投射方向以便光源不被直接看到或由于反射和折射被间接看到。充满气体的水体应当从下部照亮,光滑水体应该从前部照亮。需要保证喷泉的照明效果从所有方向都是可见的。当单独的喷射口用于创造垂直向上的构图时,最少使用两只灯具。当更多的喷射口用于产生水柱时,每个喷头下面至少需要一只灯。

2) 喷泉照明设备必须防水并得到水下安装许可。使用光学纤维或照明传送系统的情况除外,这种技术把电气照明

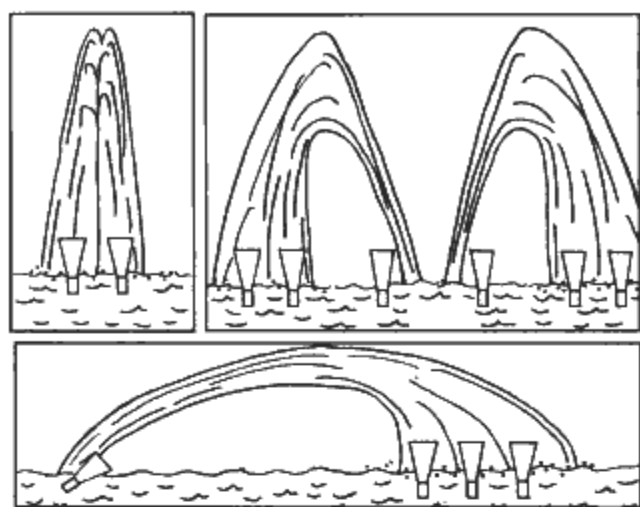


图 7.11-10 喷泉照明示意图

设备与水自然分开,因此不必防水。所有的水下防水设备比正常户外安装的防湿设备要贵 3~5 倍。不安装在水中的设备可以安装在树上、附近的建筑物上、喷泉周围的地面上,或安装在喷泉的构筑物上,注意经常维护和检查,这种方式可能没有埋设灯具效果显著,但是比较实用,并且相当经济。

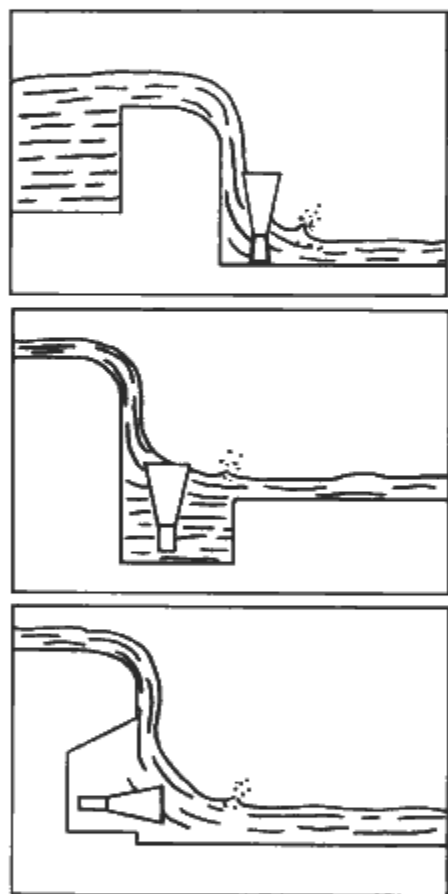


图 7.11-11 瀑布照明示意图

#### 6.3.4 地貌照明

1) 瀑布、水池、河流和滨海地带是地貌特色。设计师应该评估这些环境,并判断特定地貌在景观范围中是焦点、过渡区还是背景元素。如果设备安置在水中,光的效果和滞留的热量对水中生物的影响必须得到考虑。所有的这类设备必须有在水中使用的许可,并且所有水下照明的电工规范应得到无误的遵循。下列准则针对每种特定的地貌。

瀑布(水平水体经由垂直水体到达另一水平水体):需要确定瀑布流下的边缘(堰)的类型。如果堤坝很粗糙,水会被搅拌并留有气泡。照明设备直接安置在水流冲击面的下面,让光束穿过瀑布,与气泡混在一起,使水流发光,水流会呈现出光的颜色。喷泉顾问能够计算出落地点,使用那些搁置在瀑布底部的灯具,比那些嵌入瀑布底部的灯具更能适

应落水位置的延迟确定。这些照明设备需要坚固的固定设备来保持它们的照射角。如果瀑布并不是持续落下,此时灯具将是可见的。如果堤坝是平滑的,水将形成一层水幕。这类瀑布应从前面照亮,光源的选择和灯具的设计近似于用洗墙灯照亮一个表面,距离应足够远,以保证能照到整个瀑布落差的高度,并且相邻的灯具能够将光斑交叠。

2) 河流和水池。河流和水池在园林景观组成中很少作为最重要的元素。美丽的倒影是人们最希望看到的。保持水面的黑暗,并将周围环境中的景致照亮,将创造倒影的效果。自然池底由于随水流动的泥土使其外观并不美丽;人造池底通常更为清洁,更宜被照明。水池既可从外部照亮也可以从内部照亮。内部照明强调形状、墙和池底的表面材料以及纹理。墙和池底通常有相对较高的反射率,使用小功率灯具,以保持水池的视觉效果同整体效果平衡,避免过亮。将这些灯具结合起来进行调光,有助于保持视觉效果。外部照明在水的表面或水中物体表面创造闪光的效果。使用放置在水面以外的灯具,要求控制灯具的瞄准角度,不超过  $35^\circ$  (与垂直方向的夹角),以避免产生眩光。

3) 滨海地带。海洋中唯一能照亮的是海浪拍岸形成的泡沫。由于大多数光线会被吸收,因此需要大量的光照向海洋。高瓦数金属卤化物灯是此项用途的最好光源。由于滨海地带的照明会产生相当程度的光污染,因此它的使用应该限于那些临时的特殊需要场合。时间控制也很重要,在海龟巢附近或靠近其他对光敏感的海洋生物的场所,是不主张滨海照明的。

其他地貌:间歇泉、岩壁和其他特殊的自然地貌,这些照明应该由专业人员设计。前面提到的所有的基本设计原则都应得到满足。光污染、光干扰和环境亮度也必须同时考虑在内。

#### 6.4 硬质景观照明

硬质景观照明是园林景观照明中与建筑特征有关的一个特殊的分类,包括喷泉(喷泉照明已在 6.4.3 节中讨论,本节不再赘述)、雕塑、构筑物和标识的照明。硬质景观是园林空间的界定物,照明设计必须建立在对其人工物特质的理解之上。对这些元素进行照明设计时,要考虑每个个体的含义,以及它们同整体和其他视觉元素之间的关系。对于那些在夜晚不恰当的、不应该引人注意的元素,需要保持黑暗。硬质景观是人文信息的载体,是否可见与如何被见决定了信息的传递方式,传递方式应该与景观元素的设计意图尽力保持统一。

##### 6.4.1 雕塑

雕塑与承载和欣赏它的空间一一对应。雕塑靠形象表达含义,因昼夜间光的图式发生变化,表达出的内涵一定会略有不同,照明设计师有时需要以雕塑家的思考方式进行工作。在园林中,雕塑通常作为视觉的焦点:或者从远处即可看见,引领游人行进;或者在某个转角突然出现,创造空间和情绪上的转换。照明设计师需要考虑雕塑如何融入总体环境之中;同时,突破雕塑的角色定位,常常能够创造出趣味性。用于雕塑照明的技术各不相同。在决定如何对雕塑用光时,要先考虑下列问题:①雕塑的特征,包括形状、细节、纹理及其他、材质和色彩;②灯具的安装以及同元素的关系。

1) 按照照明方式,可以将雕塑分为两种类型:传统雕塑和现代的自发光雕塑。20 世纪中期之前,雕塑照明仍然只有一种方式:白天依靠天空光,晚上采用泛光照明。随着



现代照明技术的发展,出现了全新的概念——将光源与雕塑完美结合为一体。无论何种照明方式,人们的审美都倾向于在夜晚创造不同于白天的视觉效果。昼光照明、泛光照明和自发光的主要差异在于光线的投射方向,这是雕塑照明设计的核心问题。

下射光更易保持雕塑的自然特性。同天空光一样,下射光在纹理细部的下面创造阴影。人物照明需要对人脸的三维模型有一定认识,光可以使友善的表情变得恐怖而丑陋。下射光照亮的人脸由于出现阴影,使面部表情的可读性降低,可以从侧向补光,以减少阴影,关键是灯具的安装位置和瞄准角度,通常宽光束更为适宜。当创造永久性效果时,可以使用下射光照明,雕塑的内涵很少被误读。但多数情况没有下射照明的灯位,上射照明成为唯一的选择。

上射照明灯具如果离雕塑过近,将产生拉长的阴影,对雕塑的表现有消极的影响。应将灯具离开雕塑一定距离,以减少阴影。很多雕塑及标志物可以由机械、风力控制运动,照明需要保证整体的造型。例如,风中的旗子会在水平和垂直范围内飘动,确定旗子所有可能飘过的区域,然后设计光源的功率、光束角、装置数量及位置。所有上射灯具都要保持玻璃表面清洁,不对光线造成影响。

雕塑可以概括为两个基本形式:三维的和二维的。三维雕塑放置在可以从一个或更多角度看到的位置。二维雕塑通常只有一个欣赏角度(见图7.11-12)。

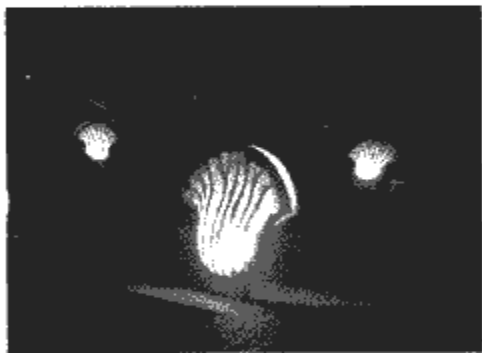


图 7.11-12 葛蒲河公园中的自发光雕塑

2) 对于三维雕塑,应使用来自不同方向且有一定变化的光线照明,以形成基本的高光和阴影,这样才会显示出形状或纹理。对于光源的色温和显色性能也要仔细考虑,例如,铜绿色的青铜雕塑可以依光源的不同而呈现出淡蓝色、绿色或灰色。定向照明会进一步塑造雕塑,在一些区域表现出亮度层次而使另一些区域隐入阴影中。阴影指示表面形式和肌理,不应太黑,以免掩盖重要的细节。亮部为雕塑表面特征提供很好的可视性,但不应耀眼或产生不舒适眩光。多视线方向的照明设计比较困难,因为人们围绕着雕塑不断移动,且从不同的位置进行观看,所以设定灯具位置和瞄准角度以减少眩光是十分重要的。多视线角度为雕塑夜景创作提供了广阔的选择,设计师可以在不同位置创造不同的视觉效果。为达到理想的照明效果,灯具也许需要围绕着雕塑,或者将最低数量的灯具放在几个点上。当没有足够的光照亮雕塑的全部形状时,效果可能是令人不满意的。

3) 对于二维雕塑,如果具有特殊的纹理,使用近距离的“切向”(见图7.11-13)照明技术;如果色彩或图案作为主要外观给予强调,使用“洗墙”照明技术。单个视觉方向通常消除了潜在的灯具眩光,灯具的瞄准角度背离参观者。但参观者在灯具和雕塑之间散步时,眩光仍是一个问题。当雕塑背后有墙或树篱,可以考虑照亮这些表面以提供场景的



图 7.11-13 葛蒲河公园中的巨石采用“切向”照明方式

纵深感,并为雕塑提供背景。

#### 6.4.2 构筑物

园林景观涉及的构筑物种类繁多:可以是功能性的花房、凉亭、露台、架子、小桥;可以是视觉和划定空间服务的门和围墙;可以是并无使用功能的介于雕塑和建筑之间的特殊构筑物。构筑物的照明方法取决于构筑物的使用方式及其在整个景观中的视觉重要性。有功能的构筑物需要附加任务照明、安全照明,同时保证艺术效果。当对花房或温室等玻璃构筑物进行照明时,照亮内部结构将创造强烈的效果。对于作为雕塑的构筑物,可以使用雕塑的照明技术。

设计时需要将构筑物与环境联系起来,考虑构筑物与环境之间的亮度对比。高亮度对比创造视觉兴奋,低亮度对比适于视觉放松。构筑物可以提供放置照亮周围小路、植物、雕塑、休息区的灯具的位置。应考虑所有将照明设备(包括灯具、接线盒、变压器、镇流器、时间控制器、感光探头、移动探测器等)隐藏起来的技术细节,将清晰的设备图纸提供给景观设计师。由于包括机械、灌溉、音响、消防、喷泉等方面在内的其他设计人员要求在同一空间内解决安装,正确地获取并集合信息是十分重要的。

如果灯具作为构筑物的装饰性元素,需要平衡尺度和风格。既要考虑灯具在受光表面创造的光与影的构图,也要考虑白天的视觉效果。

葛蒲河公园和皇城根遗址公园的亭子如图7.11-14、图7.11-15所示。



图 7.11-14 葛蒲河公园中的休憩亭





图 7.11-15 皇城根遗址公园的凉亭

### 6.4.3 标识

标识提供关于园林使用的信息，指导步行者或车辆交通，指引空间。标识在形式和外观上各不相同，在设计上具有很大大自由度。标识照明的样式能够反映园林的品质，三个基本类形是发光字母、发光背景和外部照明。动态照明的标识很快能吸引人们的注意力，但用于高品质园林并不合适。

标识被看见的方式和环境光的水平影响了照明水平的选择。标识牌的反射特性指导光源功率的选择。照明装置的外观十分重要。材料的类型和质量需要适合安装的方式。结构和构造技术需要确保防护，并且提供维修的通路。当很难进行维护时，应选择长寿命的光源。

## 第12章 学校照明

### 1 教学（实验）楼照明

教学楼照明以教室照明为主，并注意教室照明和走道照明相协调。

#### 1.1 教室照明的基本要求

较好的教室照明设计应能满足学生生理和心理的需要，适合学生长时间的视觉作业的特点，不仅具有合适的照度值，而且照明质量的各项参数均应满足要求，才能提供较好的照明环境。

##### 1.1.1 教室的视觉作业特点

学生的观察对象特点：简单和复杂，尺寸大小、方向变化，到眼睛的距离变化，对比度变化等。

- 1) 需要较长时间集中精力。
- 2) 所观察的物件尺寸是变化的，如字体大小。
- 3) 由距离近的作业（看书写字、记笔记）到距离远的作业（看黑板、看投影幕）。
- 4) 在有光纸或无光纸上作业。
- 5) 在有限时间内看清黑板上或书本上所需的内容。

##### 1.1.2 照度水平

根据教室的视觉作业特点确定照度值，兼顾照明舒适度、经济能力等。

美国照明工程研究学会（IERI）的研究表明，对于尺寸相似的物件，一个给定的视功能水平所要求的物件对比与亮度的关系不是线形的：对比大的物件在低照度下便有足够的能见度，随着物件对比的降低，物件的亮度（以及由此而来的物件照度）必须大幅提高以保持规定的视功能水平。例如，质量好的书本，看清印刷符号要求  $11 \sim 32 \text{lx}$  ( $1 \sim 3 \text{fc}$ ) 等效球面照度；复印质量很差的材料，由于对比度低，要求  $22\,000 \text{lx}$  ( $2000 \text{fc}$ ) 等效球面照度才能看清，由于技术条件限制和成本过高，在设计过程中排除这种极端使用条件；标准的铅笔手稿需要的最小亮度为  $750 \text{lx}$  ( $70 \text{fc}$ ) 等效球面照度。以上给出的等效球面照度值是假定不存在光幕反射、人的视力正常，一组观察人员中 50% 的人达到预先选定的视功能条件所需要的照度。

另外根据西欧研究的成果，在没有眩光的一般荧光灯照明条件下，人的视觉满意程度为：最满意的照度在  $1500 \sim 3000 \text{lx}$ ，但是这种取值在经济上是不现实的，选择适当的范围参考的依据是中等大小的普通物件，不用特别费力就能把它们辨认出来，需要  $200 \text{lx}$  的照度。国际照明委员会 CIE 给出的建议是，以  $200 \text{lx}$  作为连续工作用的房间内的最低容许水平照度值，推荐照度值为  $300 \sim 1000 \text{lx}$ ，随着照度的增加，视觉的轻松程度、速度和正确性增加。

新颁布的《建筑照明设计标准》(GB 50034—2004) (以下简称《新标准》) 给出普通教室照明照度标准值为  $300 \text{lx}$ 。目前设计时可按《新标准》要求，并根据工程具体情况进行调整，在经济条件、产品技术条件允许的情况下，适当考虑照度舒适度要求。

##### 1.1.3 照明质量要求

视觉功能并不仅仅取决于照度水平，而且与由照明装置

所造成的光环境的其他物理特性有关。视觉功能实质上是人们分辨要看的细节亮度和背景亮度的能力的函数，必须考虑影响视觉作业、影响对比感觉的因素，这些因素包括照度均匀度、亮度比、光分布、直射眩光、反射眩光、光幕反射、颜色、光源显色性等。这些因素处理不好会使视觉不舒适或减少视度。

##### (1) 亮度关系

当眼睛从一个亮度区域（如书本）移到另一个亮度区域（如黑板）时，眼睛就要适应新的亮度水平。若亮度差别过大，极易引起视疲劳，长时间过度用眼使睫状肌处于高度紧张状态，导致调节紧张，时间长了会使睫状肌失去弹性、灵活性减退，影响牵引晶状体的能力，从而损坏视力。

美国学校照明国家标准指南给出推荐亮度比：

- 1) 教室中较大表面的亮度不得超过工作物件。
- 2) 临近表面的亮度应低于工作物件，但不应低于其亮度的  $1/3$ 。
- 3) 任何重要的表面，其最低的允许亮度不得小于工作物件的  $1/3$ ，最高的允许亮度亦不应超过工作物件的 5 倍。

为满足以上的亮度比，室内空间表面应选择合适的室内表面反射系数，《新标准》给出了顶棚、墙面、地面、作业面反射系数推荐值：天花板为  $0.6 \sim 0.9$ ；墙壁为  $0.3 \sim 0.8$ ；地面为  $0.1 \sim 0.5$ ；工作面为  $0.2 \sim 0.6$ 。

结合学校教室照明特点，以上反射系数不宜取下限值。

课桌桌面应是无光泽的浅色表面，以防止对窗户和头顶上方光源的反射。黑板照明可以提高能见度，提高黑板与周围表面的亮度对比。

教室空间各个表面对视觉明亮感的影响是不同的，图 7.12-1 是采用不同照明灯具所获得的不同效果，其中方案二利用顶棚具有的较高反射系数，进一步提高照度均匀度。

##### (2) 眩光限制

应避免和减少直射眩光、反射眩光和光幕反射。

1) 理想的照明系统和工作区的关系，应当使工作物件（如书本）不要位于任一光源同眼睛形成的镜面反射角内，也不要在其附近。

2) 采用能够很好地控制直射眩光的灯具，限制规定角度上的亮度。

3) 具有合适的房间表面反射系数。

《新标准》给出了教室统一眩光值 UGR 为 19，设计时要满足这一数值的要求。

##### (3) 光源的颜色特性

光源的颜色特性包括色温和显色指数。色温即灯本身的色度，显色指数决定被照物体颜色的显色性能。

1) 色温。照明光源色度，按光源颜色外观效果分为三组：暖色（色温小于  $3300 \text{K}$ ）；中间色（色温  $3300 \sim 5000 \text{K}$ ）；冷色（色温大于  $5000 \text{K}$ ）。

光的颜色外观效果舒适度评价和照度有一定的对应关系，由试验得知，在低照度下，以暖色（色温小于  $3300 \text{K}$ ）为好，随着照度的增加，光源的色温应当提高。图 7.12-3 为不同色温的效果。

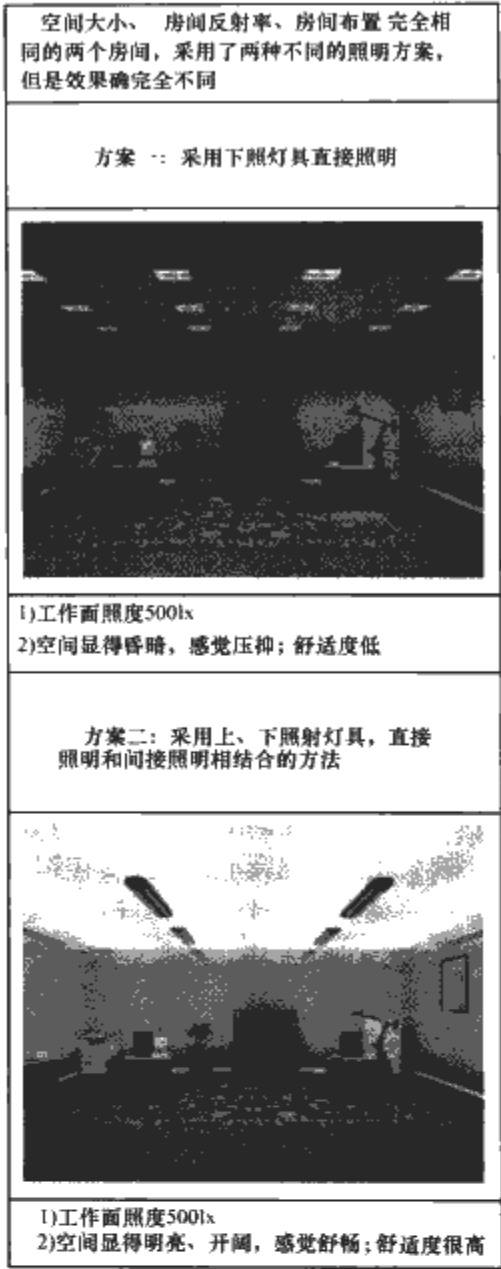


图 7.12-1 两种照明方案比较

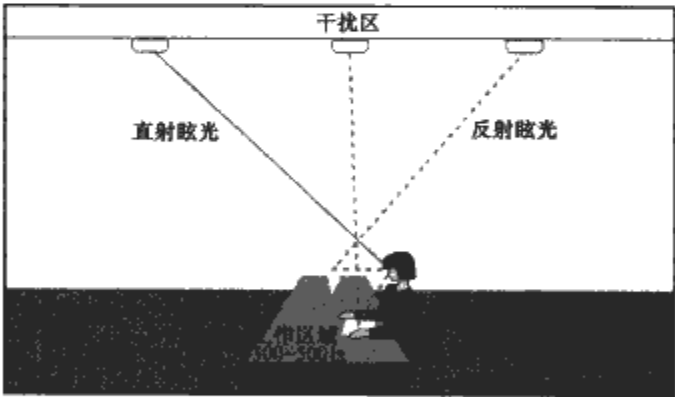


图 7.12-2 眩光限制

2) 显色指数。被视物体的颜色外观与光源的光谱功率分布有关，并不取决于光的颜色外貌。由不同光谱组成的光源所照射的有颜色的物体，人感觉的颜色不同，对这一影响用显色指数  $R_a$  表示。将一些试样在给定的光源下看到的颜色，与这些试样在规定的参考光源下看到的颜色进行比较得到的颜色重现精确度。

这一指标对教室照明是比较主要的，显色性越高越好，但限于产品的技术条件，显色性过高，光效会降低。新型高光效灯管对显色性有很大改进，在给定照度下，获得较好显色性，又未过多使用能源。

综上所述，为满足教室视觉作业要求，合适的照度值选定、满足照明质量各项要求缺一不可，最终落实在灯具选

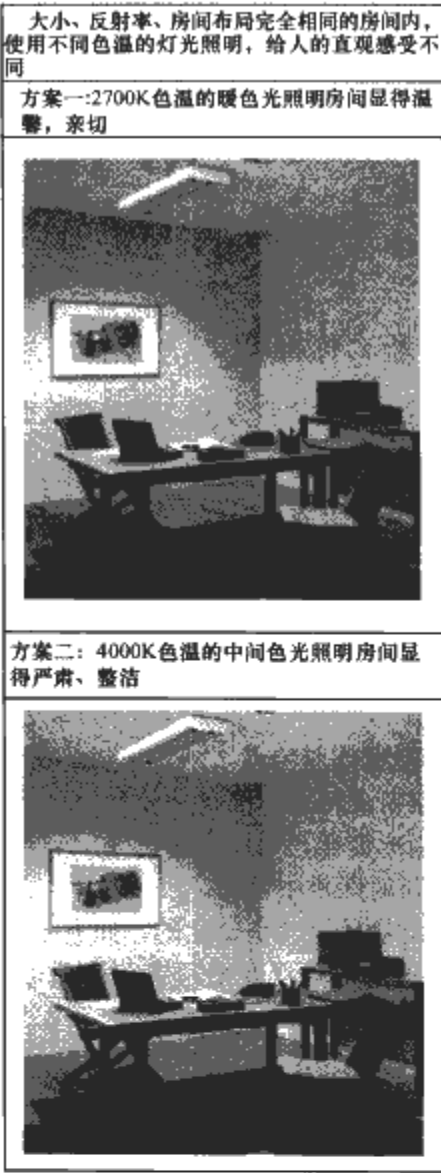


图 7.12-3 不同色温灯具照明效果比较

型、布灯方式、光源选择等照明设计工作。

1.2 普通教室照明

1.2.1 布灯方式和控制

(1) 布灯方式

根据教学功能将教室分为讲台教学区和学生座位区，如图 7.12-4 所示。讲台区是老师活动的主要位置，视觉目标是黑板、讲台演示区、老师的表情和动作，是学生注意的重点。学生座位区域主要是学生阅读、书写、听课的场所，视觉任务是桌面，有时会和老师互动，所以位置上也要适当考虑学生的面部表现，布灯方式如图 7.12-5 所示。

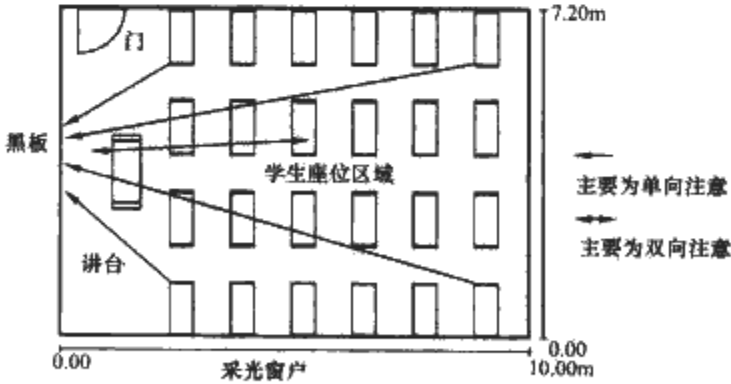


图 7.12-4 讲台教学区和学生座位区

(2) 教室教学基础照明

以某教室（10m×7.2m）为例，选择悬挂式 2×36W 荧光灯具 FRYZ236。

灯具长轴方向垂直黑板，布置 3 列，每列 4 套，灯具的

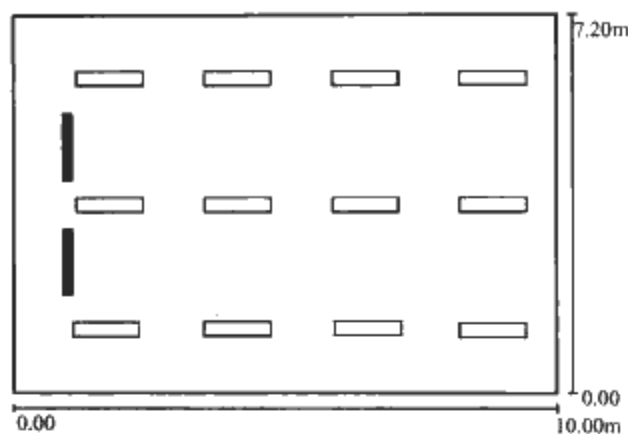


图 7.12-5 布灯方式

间距满足照度均匀度要求。而且这种布置方式更容易引导学生的视线，将注意力集中到讲台区域。整个教室（10m×7.2m）的 0.73m 高工作面的照度分布如图 7.12-6 所示，平均照度 433lx，主要教学区域（8m×7.2m）内的 0.73m 高工作面平均照度达到 480lx，均匀度高达 0.8 以上。

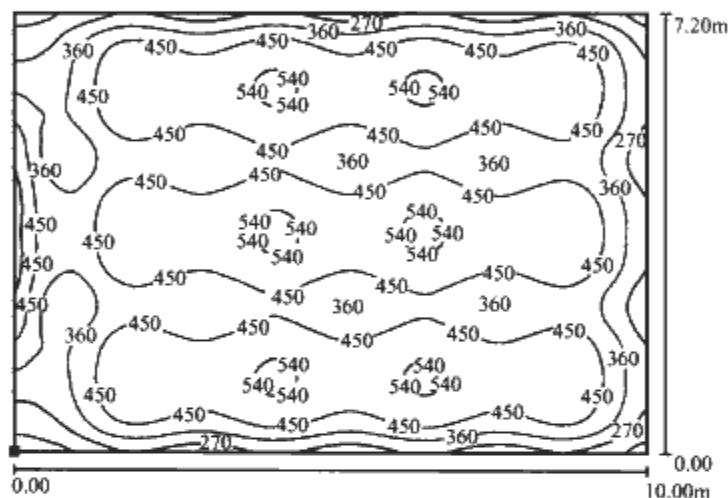


图 7.12-6 整个教室 0.73m 水平面的照度分布  
不同功率灯具和布灯方式数据对比见表 7.12-1。

表 7.12-1 不同功率灯具和布灯方式的数据对比

方案对比	灯具名称和型号	布灯方式	计 算 结 果		
			平均照度 (lx)	照度均匀度	眩光指数
实用方案	FRYZ236 双管荧光灯盘	4 排 3 列	433	0.8	<18
对比方案	FRYZ336 三管荧光灯盘	4 排 2 列	439	0.4	<21

(3) 黑板照明

黑板照明采用 2 套不对称配光专用黑板照明灯具 OP-TUS 136AZ，黑板照度 502lx，均匀度大于 0.63。图 7.12-7 为黑板照度分布。

(4) 开关控制

开关设在前门处，按平行外窗的灯具成列控制；黑板灯控制开关设在黑板旁，方便教师在教学过程中控制灯光。

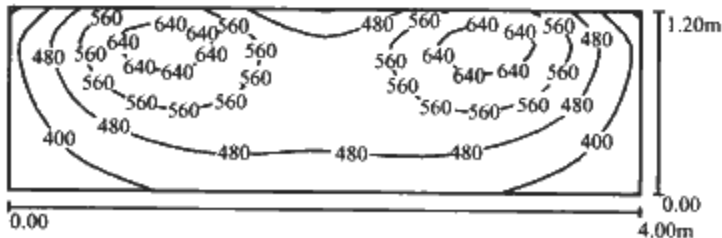


图 7.12-7 黑板照度分布

最后由专业照明公司使用计算机模拟技术，将房间的空间尺寸和反射特性输入计算机，配合提供的灯具数据文件，计算核实照度、照度分布、眩光等数据。将以上数据调整到合适的水平，据此完成电气设计。图 7.12-8 为计算机模拟的空间亮度分布伪彩渲染图。

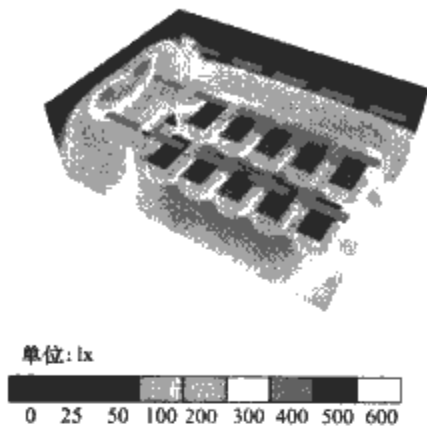


图 7.12-8 计算机模拟的空间  
亮度分布伪彩渲染图

1.2.2 灯具与光源的选择

(1) 普通教室灯具

所选双管亚光格栅荧光灯具 FRYZ236（2×36W）如图 7.12-9 所示。灯具效率为 72%。

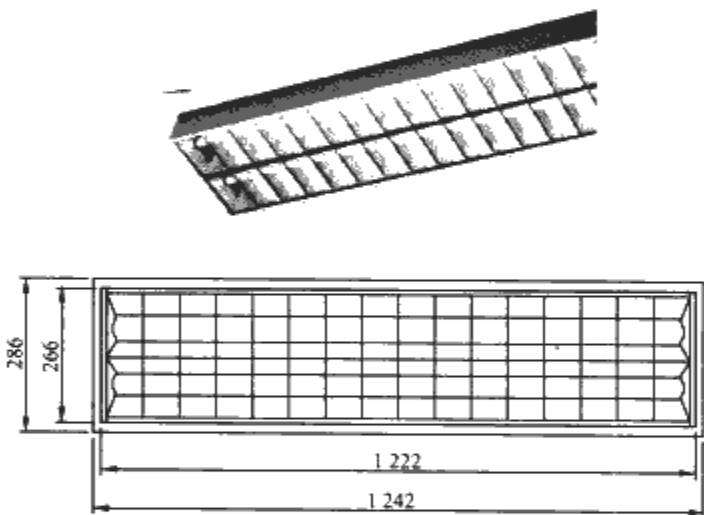


图 7.12-9 双管亚光格栅荧光灯具 FRYZ236

此种灯型不仅有下射光，同时有少量上射光，配光曲线如图 7.12-10 所示；这部分上射光线有两个方面的作用：一方面照亮天花板，使整个室内空间显得高大、宽敞、明亮，很容易达到日光照明中天空的效果；另一方面，光线照射在天花板上，通过高反射率的天花二次反射到达地面，增加了空间内漫射光。漫射光在提高照明舒适度上有着重要的意义，特别是在进行多媒体阅读过程中更为重要。有研究表

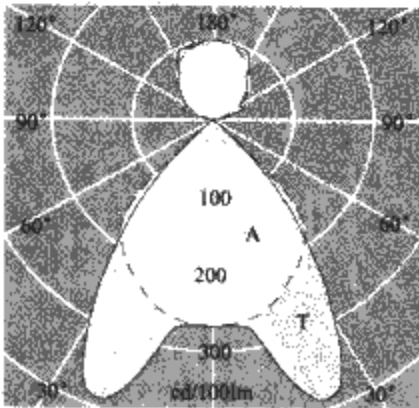


图 7.12-10 配光曲线

明,同样的 300lx 照度水平下,增加 10% 的漫射光照明的环境和单纯直射光照明的环境相比,人的愉悦程度增加 1.5 倍。



图 7.12-11 直接型灯具和加部分漫射光型灯具的比较

FRYZ236 格栅灯具在眩光控制方面性能优越,可以有效控制直射眩光和反射眩光,其计算结果如图 7.12-12 所示:最大 UGR 数值不超过 18。

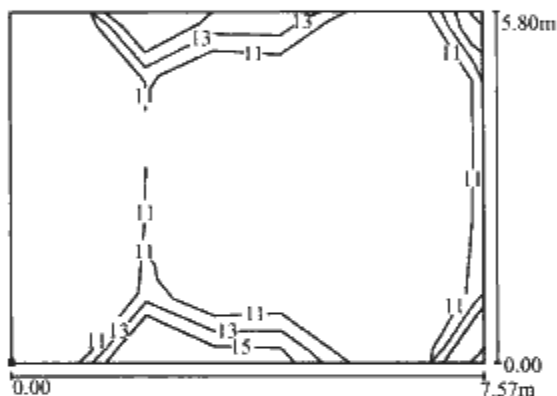


图 7.12-12 FRYZ236 格栅灯具眩光控制计算结果

### (2) 黑板灯

选用不对称配光专用黑板照明灯具,非对称洗墙照明灯具,匹配低亮度偏光反射器,前置遮光挡板,适用于教室的黑板照明。灯具外形和尺寸如图 7.12-13 (a) 所示。

灯具配光曲线如图 7.12-13 (b) 所示。灯具效率高达 81%。

根据装饰条件不同,灯具提供了多种安装方式,有嵌入式、吸顶式、悬挂式等,如图 7.12-13 (c) 所示。

黑板灯位置的设定需要综合考虑学生和老师的观察视角,避免直接眩光和反射眩光对他们造成影响,如图 7.12-14 所示。学生的视觉干扰区内灯具必须合理设定灯具和选择合适的照明灯具,同样老师的视觉干扰区内也需要这样处理,选择合适的黑板灯灯具及安装位置的正确是关键。

从图 7.12-14 看出,黑板安装高度、第一排学生座位尺寸按规范要求即可确定,这样就可算出黑板灯照到黑板上对学生产生反射光的角度,当教室高度确定后即可算出距离黑板的最大距离。直射光对学生没有影响,因为当选用专用黑板灯时,灯具已将这部分光遮挡。当黑板灯位置在可安装范围内时,黑板灯的准确定位应结合所选黑板灯的配光确定,以达到黑板照度均匀度的要求,如图 7.12-15 所示。

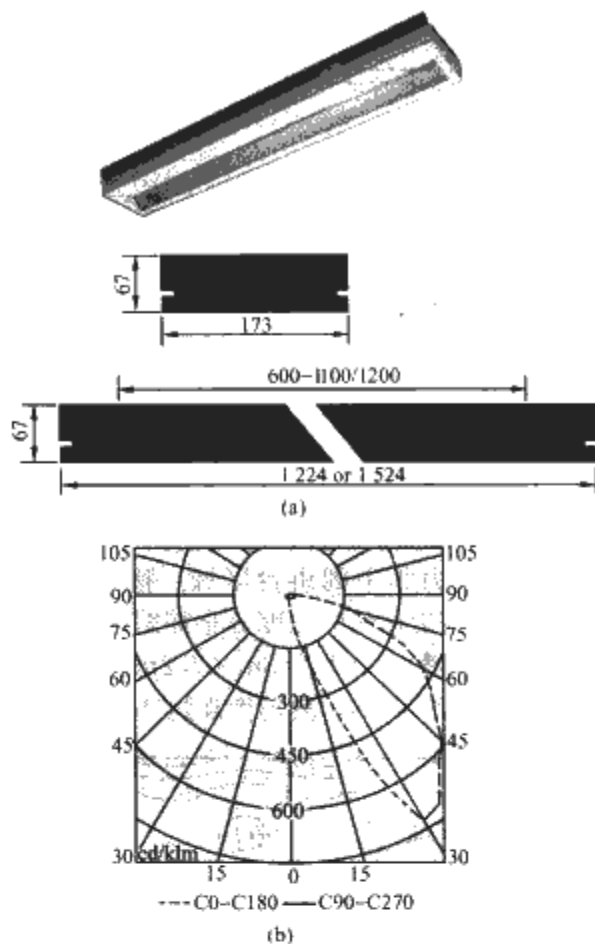


图 7.12-13 单管亚光黑板灯  
(a) 尺寸; (b) 灯具配光曲线; (c) 安装方式

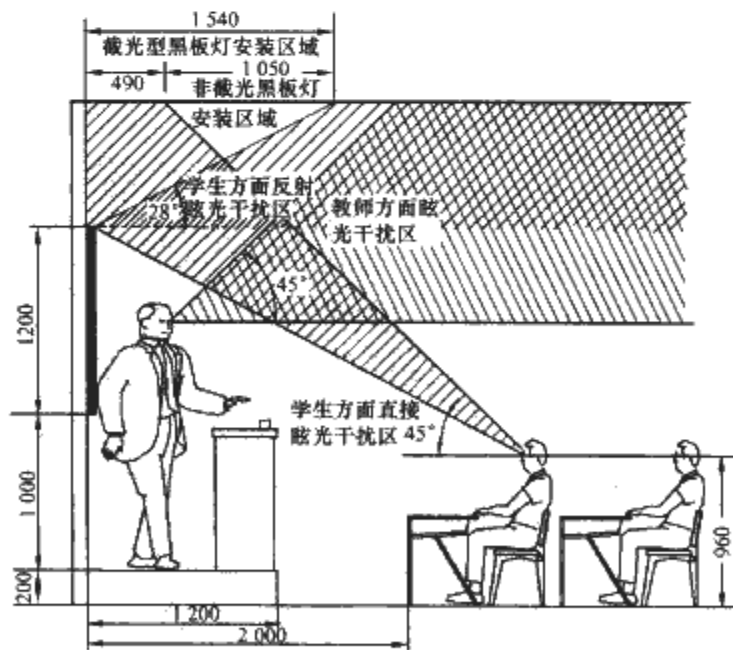


图 7.12-14 黑板灯光路分析示意图

### (3) 光源选择

选用 T8 或 T5 三基色荧光灯灯管,此种灯管比普通灯

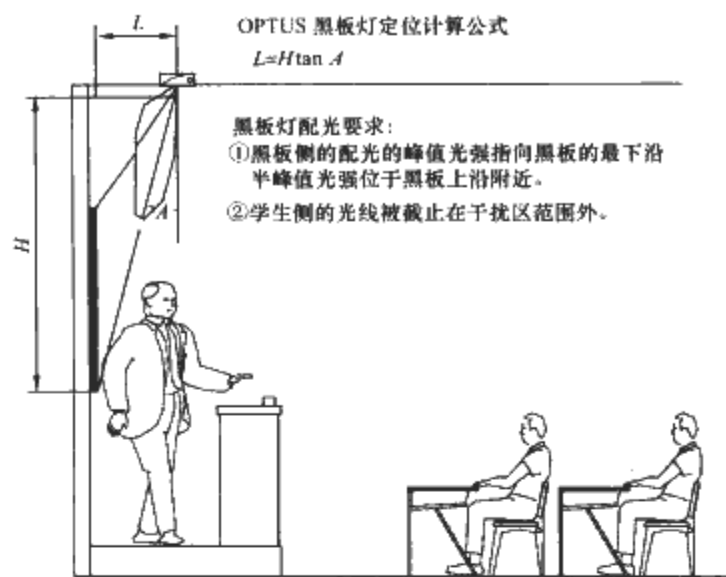


图 7.12-15 黑板灯配光要求及准确定位

管光效提高，相同耗电量单管光通量更高，显色指数大于80；走道选用筒灯，配紧凑型节能灯10W/13W/18W/26W/32W/42W。教室采用日光色、色温为4000K的光源，而走廊等公共休息活动区域配合装修色调采用暖色温的3000K光源，实现了光色在空间上和功能上的配合。

(4) 灯具主要附件选型

所有灯管均配电子镇流器，比普通电感镇流器节能10%，而且消除频闪和噪音（交流声）。同时灯具的启动性能更好，有效延长光源使用寿命，减少维护成本。

在灯具中主要组成部分为灯体、电器和光源，由于生产和技术上的原因，光源已经成为严格按照国家标准生产和制造的标准产品，其外观、尺寸、光通量、显色指数等参数都是可以依据标准查询和对比优劣的；而灯具是变化的，不同的场合有不同的要求，显然在未来的建筑设计中个性化是趋势，由之带来照明方面的个性化也是必然趋势。一个好的灯具必须是能够方便用户使用的产品，所以在选择产品时最好能够选择整灯（含电器）为统一品牌产品，而作为消耗品的光源则可以选择。

1.3 其他教室照明

1.3.1 交互式教室照明

交互式教室照明如图 7.12-16 所示。

交互式教室照明在普通教室的基础上，还需要注意几个方面的问题。

(1) 互动性

和普通教室不同，交互教室更加强调教学的互动性和良好的沟通交流气氛；特别是教师的位置是非常灵活多变的，学生的位置也是不固定的。

(2) 照明特点

照明方面需要满足各个方向上的可见性和舒适性，所以二次反射灯光是必需的，而且灯具应该能够在所有方向上实现低眩光控制。

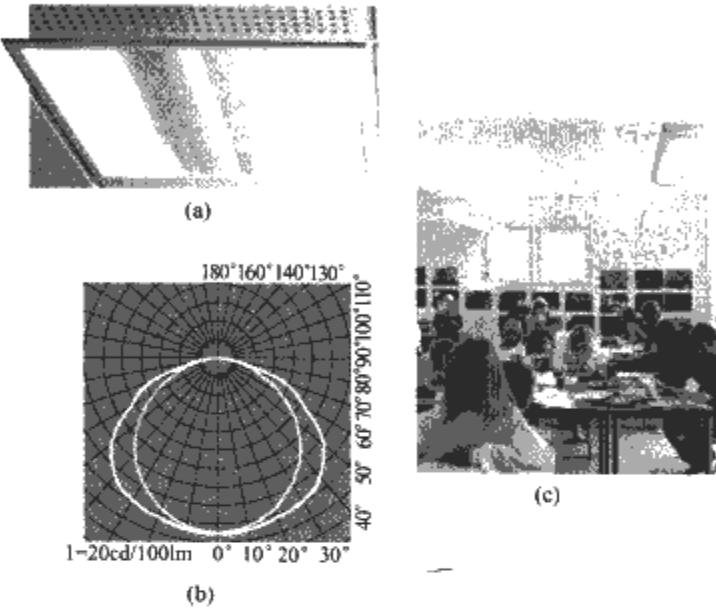


图 7.12-16 交互式教室照明


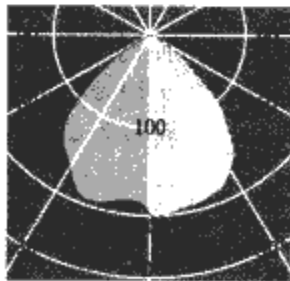
(a) 低眩光灯具；(b) 低眩光灯具配光曲线；(c) 实例低眩光灯具的特点：

- 1) 配光曲线显示所有光线均匀向空间照射。
- 2) 光源完全遮蔽，无眩光。

1.3.2 阶梯教室照明

和普通教室相比，阶梯教室更大、更高、人员更多、教学内容更多，灯具的选择需要多样化。足够的下照光可以通过格栅灯或下照节能筒灯实现；在周围的墙壁上渲染适量的环境光，可以通过洗墙灯或暗藏灯光实现；如果高度允许，使用悬挂式的直/间接照明灯具时性价比较高的照明方案。多种灯具性能见表 7.12-2，可按建筑形式不同及装饰要求进行选用。图 7.12-17 为实例照片，下照灯光采用格栅灯、筒灯，黑板照明采用嵌入式黑板灯。

表 7.15-2 多种灯具性能

灯 具	配光曲线图	性 能
 嵌入式下照筒灯	 中光束配光曲线	<ul style="list-style-type: none"><li>(1) 控光性能优秀，无眩光</li><li>(2) 灯具效率高，能效高</li><li>(3) 有效避免杂散光，减小对多媒体设备的视觉干扰</li><li>(4) 灯具体积紧凑，布置灵活，适应性强</li></ul>



续表

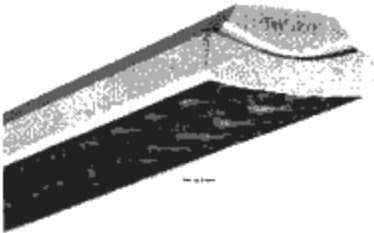
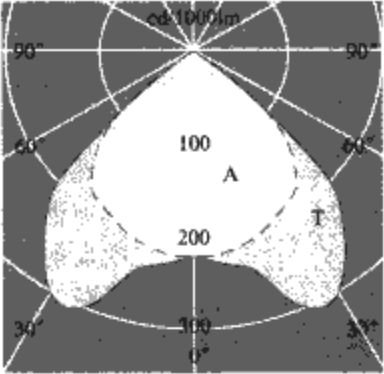

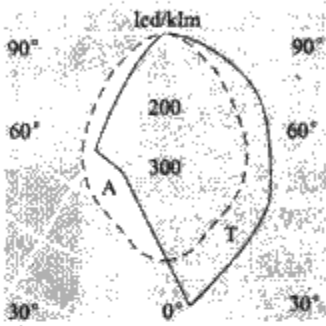
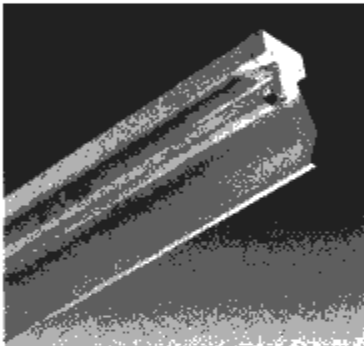
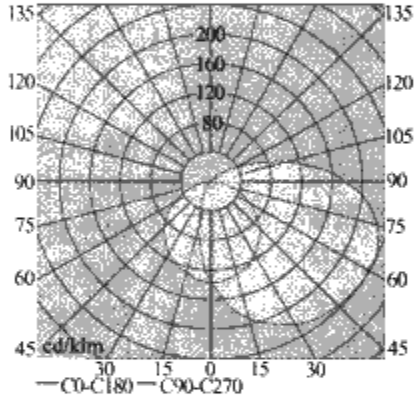
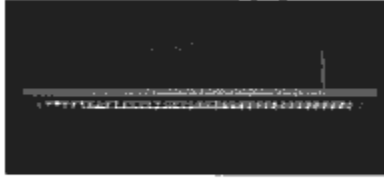
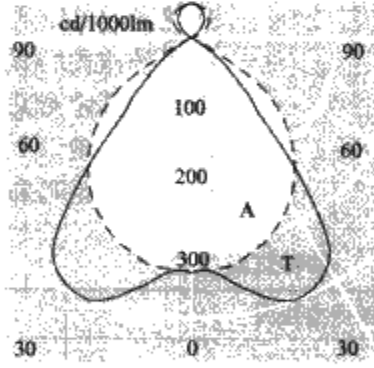
灯 具	配光曲线图	性 能
 明装格栅灯	 截光显著的蝙蝠翼配光	除了上述 1、2、3 特点外，灯具外形为长条形，有良好的视觉导向性
 嵌入式洗墙灯	 非对称洗墙配光	布置方式灵活，均匀照亮被照墙面，而不对其他目标形成干扰
 偏光暗藏支架	 非对称配光	配合装修方案，提供装饰性暗藏灯光，单边光学反射器，效率高，维护费用低
 悬挂式直/间接照明灯具	 上下出光配光分布	外形美观，光学方面性能优异，灯具效率大于 80%，提供 10% 的上射光，充足的下射光保证桌面照度，少量的上射光提供环境照明和部分漫射光



图 7.12-17 实例

1.3.3 艺术教室照明

艺术教室最优的照明方式是采用朝北的采光天窗，适当补充人工照明，满足阴雨天和夜间使用需要。基础照明应当采用漫射型光线，在模特摆放区域设置部分可以调节位置和投射方向的直射光，以满足模特照明的特殊效果要求，如图 7.12-18 所示。

美术教室为正确识别颜色，应选用显色指数较高的光源，照度一般为 500lx。

1.3.4 实验教室照明

按实验室使用功能不同分为生物实验室、物理实验室、化学实验室、计算机教室。

所有实验室都必须根据实验室的布局确定灯具布置方

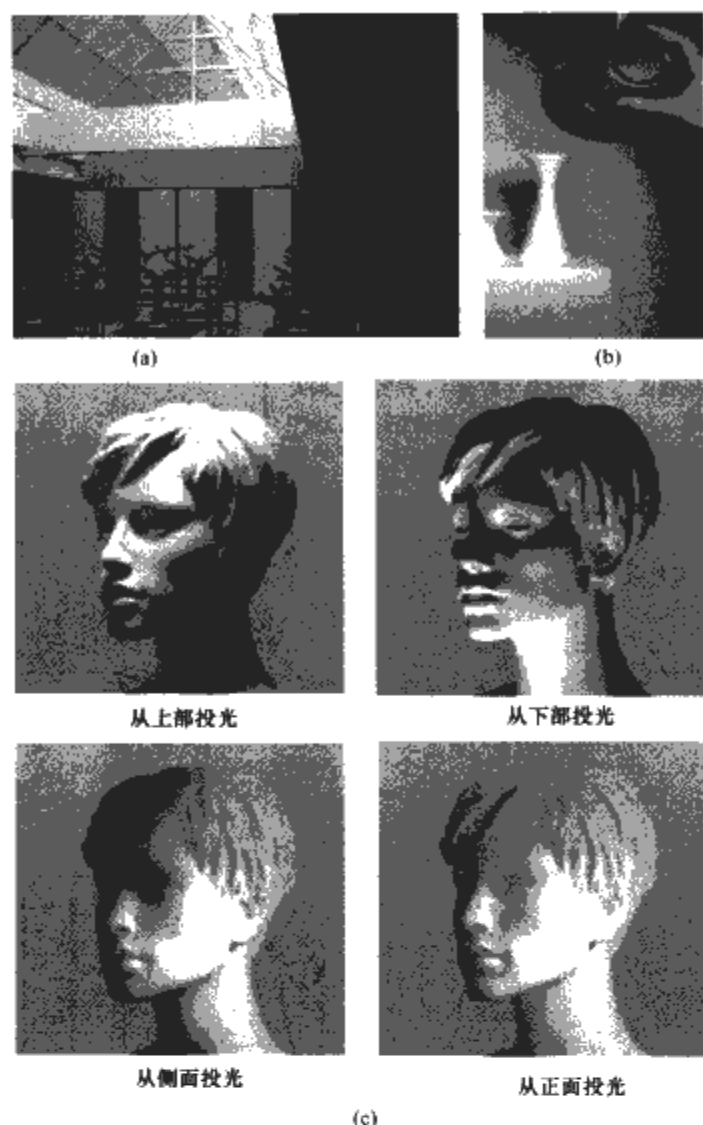


图 7.12-18 艺术教室照明

(a) 朝北的天窗提供稳定的照明；(b) 可调投射角度的光束的射灯提供不同照明效果；(c) 不同投射角度照明效果示意

案，按照教室的照明标准从质量和数量上确定照明需要的方式和数量，然后根据具体实验室的特殊环境要求选择合适的灯具。

在生物和物理实验室，应选择控光条件好的格栅灯具；在有高速旋转设备的场合，必须选择高频电子镇流器，以免发生同步现象而发生危险。灯具的布置最好能够围绕试验台，保证试验台上有四周方向的光照射。

化学实验室会有腐蚀性气体，所以灯具的选择需要一定的防护等级和密封性能。通常需要达到 IP54，灯体和天花需要有密封结构，灯具单体需要密封。灯具的表面处理必须耐腐蚀、抗老化，先进的静电粉末喷涂是好的选择。如图 7.12-19 所示。

为适应不同的应用场合，光学方面也有相应的设计，如

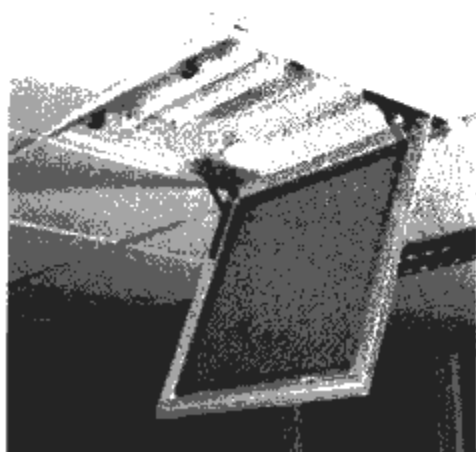


图 7.12-19 密闭型灯具

图 7.12-20 所示。棱纹板漫射型灯盘适合于需要漫射光比较多的场合，提供均匀柔和的空间照明和水平照度；计算机教室选用双抛格栅灯具，有效避免反光和干扰光。

在功能区间区分上，可以使用一些其他形状的灯具，如 IP54/IP65 筒灯等。

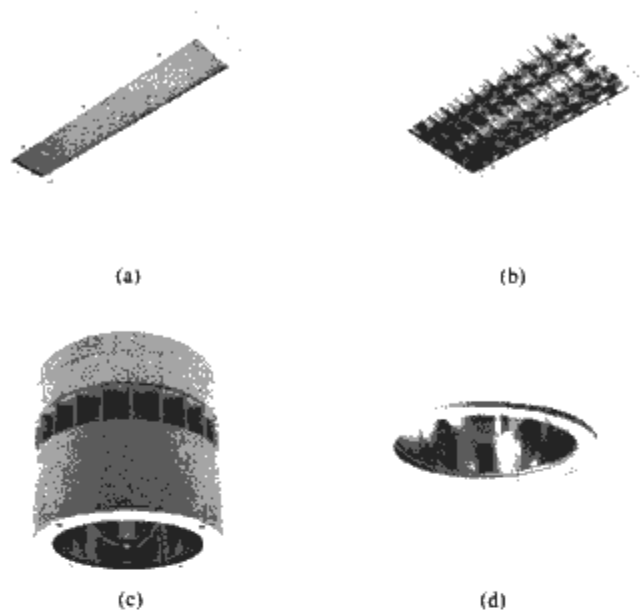


图 7.12-20 灯具选型

(a) 棱纹漫射板洁净灯具；(b) 双抛格栅灯具；  
(c) 明装节能筒灯 (IP65)；(d) 嵌入式节能筒灯 (IP54)

#### 1.4 相邻区域照明协调

1) 光色协调，如教室与走道相协调，并与装修色调一致。

2) 照度协调，如教室与走道相协调。功能不同的相邻区域照度变化应不超过 3:1。

### 2 图书馆照明

图书馆按使用功能主要分为查阅、阅览、储藏等，照度水平要满足其视觉作业特点，并具有较好照明质量。

#### 2.1 图书阅览室照明

图书阅览室视觉作业特点：需要较长时间，阅读的书籍或报刊分为有光纸或无光纸。

1) 照度选择：照度大于 300lx，在可能的经济条件下，适当提高照度，以满足舒适度要求。

2) 照明质量要求：应避免和减少直射眩光、反射眩光和光幕反射。

①应当使书本不要位于任一光源同眼睛形成的镜面反射角内，也不要在其附近。

②采用能够很好地控制直射眩光的灯具。限制规定角度上的亮度。

③具有合适的房间表面反射系数。统一眩光值 UGR < 19。

3) 选用二次反射灯具，可以实现较好的低眩光控制。参见 1.3.1 灯具图及配光曲线。

#### 2.2 电子读物阅览室照明

照度选择同图书阅览室照明 2.1 条。

为避免在计算机屏幕上形成灯影，宜选用双抛格栅灯具，如图 7.12-21 所示。

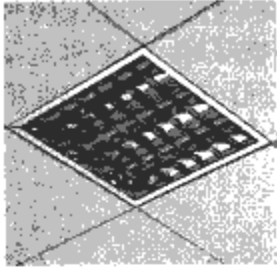
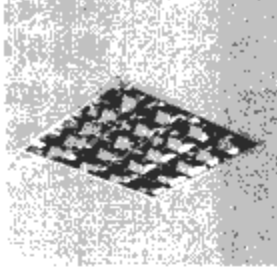

普通格栅灯	镜面双抛格栅灯	直/间接照明灯具
		
FRY 418	FRV 418 CAT2	JUPT300 228
价格低廉，有一定的防眩光作用，但是会在计算机屏幕上形成反光的亮斑，干扰阅读	价格适中，要求反射器的材料优良，设计精确，能够限制直接眩光和计算机反射光幕，在天花板低于2.8m的空间是合适的选择	价格较高，外形美观，光学系统经过科学的设计，控制眩光和光幕反射的同时提高舒适度，高档电子阅览室可选择

图 7.12-21 灯具选型比较

2.3 书库照明

照度选择同第 2.1 节。

书库书架照明垂直照度要均匀，如图 7.12-22 所示。

灯具选型：

- 1) 采用显色指数较高的灯具（大于 80）。
- 2) 宜选用专用于书库的窄配光灯具。
- 3) 特藏书库宜安装具有过滤紫外线的灯具。

重要图书馆应设事故照明，值班照明或警卫照明。

具有一定规模的图书馆照明宜集中控制，有条件时考虑自动控制，当自然光不足时，能自动打开灯光，宜分区照明，分区控制。

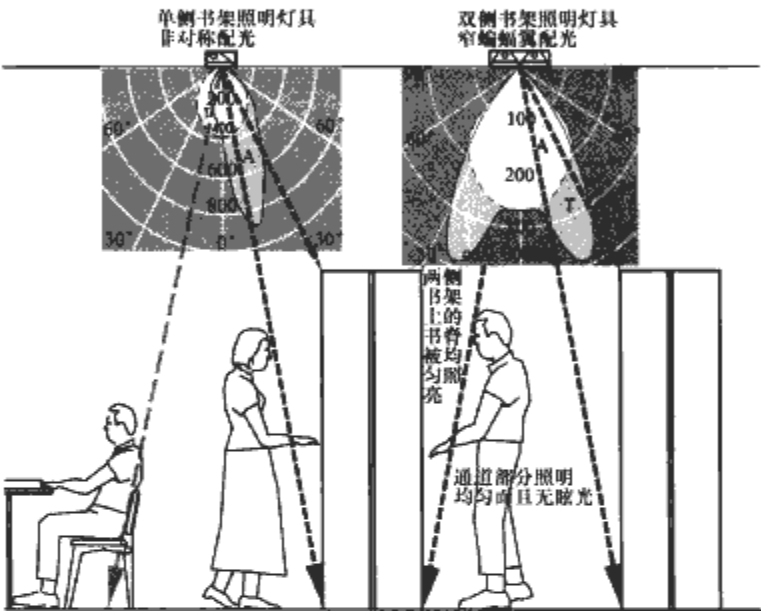


图 7.12-22 书库照明

## 参考文献

- [1] 国家经贸委/UNDP/GEF 中国绿色照明工程项目办公室. 绿色照明工程实施手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 博物馆照明设计规范[S]. 北京: 国家文物局, 2000.
- [3] 杨公侠. 视觉与视觉环境[M]. 上海: 同济大学出版社, 2002.
- [4] 詹庆旋. 建筑光环境[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [5] 詹庆旋. 中国美术馆的采光设计[J]. 建筑学报, 1962(8): 4-6.
- [6] 北京照明学会照明设计专业委员会. 照明设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [7] 周太明, 等. 电气照明设计[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2001.
- [8] 尼曼. 博物馆中的天然采光[M]. 日光与建筑译文集. 肖辉乾, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [9] 潘连生. 光纤照明在故宫陈列室中的应用[J]. 照明工程学报, 2002, 13(3): 44-45.
- [10] 中岛龙兴, 近田玲子, 面出薰. 照明设计入门[M]. 马俊, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [11] CIBS Publication No. 14. CIBS Lighting Guide Museums and Art Galleries, 1980.
- [12] CIBSE LG 08. Lighting for Museums and Art Galleries, 1994.
- [13] IESNA RP-30-96. Museums and Art Galleries Lighting: A Recommended Practice, 1996.
- [14] CIE Technical Report. Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation, 2003.
- [15] Vittorio Magnago Lampugnani, Angeli Sachs. Museums for a New Millennium Concepts Projects Buildings. Munich: Prestel, 1999.
- [16] Douglas Davis. The Museum Transformed. New York: Abbeville Press, 1990.
- [17] Justin Henderson. Museum architecture. Gloucester, Mass: Rockport Publishers, 1999.
- [18] Janet Turner. Lighting solutions for exhibitions, museums and historic spaces. New York: Distributed in the U. S. by Watson-Guption Publication, 1998.
- [19] A modern museum in a jewel of the baroque era. Licht focus, 1995(5): 4-7.
- [20] Magical, poetic, pragmatic. Licht focus, 1998(11): 4-9.
- [21] Lighting and lighting design in cultural buildings and museums. Licht focus, 1998(11): 22-23.
- [22] LD+A. Museum Musings. LD+A, 2003(5): 52-55.
- [23] 詹庆旋, 等译. 建筑光学译文集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982.
- [24] GB 50034—2004[S] 建筑照明设计标准. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [25] (GB/T 3976-2002)[S] 学校课桌椅功能尺寸标准. 北京: 中国标准出版社, 2002.



## 第8篇 建筑电气消防系统

主 编：林卫东 陈汉民

编写人员：戎一农 张 野





# 第1章 术 语

## 1 裙房 skirt building

与高层建筑相连的建筑高度不超过24m的附属建筑。

## 2 多层厂房(仓库) multi-storied industrial building

2层及2层以上,且建筑高度不超过24.0m的厂房(仓库)。

## 3 高层厂房(仓库) high-rise industrial building

2层及2层以上,且建筑高度超过24.0m的厂房(仓库)。

## 4 高架仓库 high rack storage

货架高度超过7.0m且机械化操作或自动化控制的货架仓库。

## 5 重要公共建筑 important public building

人员密集、发生火灾后伤亡大、损失大、影响大的公共建筑。

## 6 商业服务网点 commercial service facilities

居住建筑的首层或首层及二层设置的百货店、副食店、粮店、邮政所、储藏所、理发店等小型营业性用房。该用房总建筑面积不超过300m<sup>2</sup>,采用耐火极限不低于1.50h的楼板和耐火极限不低于2.00h,且无门窗洞口的隔墙与居住部分及其他用房完全分隔,其安全出口、疏散楼梯与居住部分的安全出口、疏散楼梯分别独立设置。

## 7 综合楼 multiple-use building

由两种及两种以上用途的楼层组成的公共建筑。

## 8 商住楼 business-living building

底部商业营业厅与住宅组成的高层建筑。

## 9 半地下室 semi-basement

房间地平面低于室外地平面的高度超过该房间净高1/3,且不超过1/2。

## 10 地下室 basement

房间地平面低于室外地平面的高度超过该房间净高一半。

## 11 建筑高度 building altitude

建筑物室外地面到其檐口或屋面面层的高度,屋顶上的水箱间、电梯机房、排烟机房和楼梯出口小间等不计入建筑高度。

## 12 耐火极限 fire resistance rating

在标准耐火试验条件下,建筑构件、配件或结构从受到火的作用时起,到失去稳定性、完整性或隔热性时止的这段时间,用小时表示。

## 13 不燃烧体 non-combustible component

用不燃材料做成的建筑构件。不燃材料是指在空气中受到火烧或高温作用时不起火,不微燃、不炭化的材料,如建筑中采用的金属材料 and 天然或人工的无机矿物材料。

## 14 难燃烧体 difficult-combustible component

用难燃材料做成的建筑构件或用可燃材料做成而用不燃材料做保护层的建筑构件。

## 15 燃烧体 combustible component

用可燃材料做成的建筑构件。可燃材料是指在空气中受到火烧或高温作用时立即起火或微燃,且火源移走后仍继续

燃烧或微燃的材料,如木材等。

## 16 闪点 flash point

在规定的试验条件下,液体挥发的蒸气与空气形成的混合物,遇火源能够闪燃的液体最低温度(采用闭杯法测定)。

## 17 爆炸下限 lower explosion limit

可燃的蒸气、气体或粉尘与空气组成的混合物,遇火源即能发生爆炸的最低浓度(可燃蒸气、气体的浓度,按体积比计算)。

## 18 安全出口 safety exit

供人员安全疏散用的楼梯间、室外楼梯的出入口或直通室内外安全区域的出口。

## 19 封闭楼梯间 enclosed staircase

用建筑构配件分隔,能防止烟和热气进入的楼梯间。

## 20 防烟楼梯间 smoke-proof staircase

在楼梯间入口处设有防烟前室,或设有专供排烟用的阳台、凹廊等,且通向前室和楼梯间的门均为乙级防火门的楼梯间。

## 21 防火分区 fire compartment

在建筑内部采用防火墙、耐火楼板及其他防火分隔设施分隔而成,能在一定时间内防止火灾向同一建筑的其余部分蔓延的局部空间。

## 22 防火间距 fire separation distance

防止着火建筑的辐射热在一定时间内引燃相邻建筑,且便于消防扑救的间隔距离。

## 23 防烟分区 smoke bay

在建筑内部屋顶或顶板、吊顶下采用具有挡烟功能的构配件进行分隔所形成的,具有一定蓄烟能力的空间。

## 24 挡烟垂壁 hang wall

用不燃烧材料制成,从顶棚下垂不小于500mm的固定或活动的挡烟设施。活动挡烟垂壁系指火灾时因感温、感烟或其他控制设备的作用,自动下垂的挡烟垂壁。

## 25 消防用电设备 fire electrical equipment

一般包括消防水泵、消防电梯、防烟排烟设备、火灾自动报警、自动灭火装置、火灾事故照明、疏散指示标志和电动的防火门、卷帘、阀门及消防控制室的各种控制装置等的用电设备。

## 26 自动消防设备 automatic fire equipment

能够接收启动信号控制火灾或扑灭火灾的设备。像防火门、防火阀、排烟阀、挡烟垂壁、排烟风机等的控制器或自动灭火设备。

## 27 报警区域 alarm zone

将火灾自动报警系统的警戒范围按防火分区或楼层划分的单元。

## 28 探测区域 detection zone

将报警区域按探测火灾的部位划分的单元。

## 29 保护面积 monitoring zone

一个火灾探测器能有效探测的面积。

## 30 安装间距 spacing

两个相邻火灾探测器中心之间的水平距离。

**31 保护半径 monitoring radius**

一只火灾探测器能有效探测的单向最大水平距离。

**32 区域报警系统 local alarm system**

由区域火灾报警控制器和火灾探测器等组成,或由火灾报警控制器和火灾探测器等组成,功能简单的火灾自动报警系统。

**33 集中报警系统 remote alarm system**

由集中火灾报警控制器、区域火灾报警控制器和火灾探测器等组成,或由火灾报警控制器、区域显示器和火灾探测器等组成,功能较复杂的火灾自动报警系统。

**34 控制中心报警系统 control center alarm system**

由消防控制室的消防控制设备、集中火灾报警控制器、区域火灾报警控制器和火灾探测器等组成,或由消防控制室的消防控制设备、火灾报警控制器、区域显示器和火灾探测器等组成,功能复杂的火灾自动报警系统。

**35 电气火灾监控系统 alarm and control system for**

**electric fire prevention**

当被保护线路中的被探测参数超过报警设定值时,能发出报警信号并能指示报警部位的系统,它由电气火灾监控设备、电气火灾监控探测器组成。

**36 联动控制信号 control signal for automatic equipment**

由消防联动控制器发出的用于控制自动消防设备(设施)工作的信号。

**37 联动反馈信号 feedback signal from automatic equipment**

受控自动消防设备(设施)将其工作状态信息发送给消防联动控制器的信号。

**38 联动触发信号 basic signal for logical program**

消防联动控制器接收的用于逻辑判断,并发出联动控制的信号。

## 第2章 概述

建筑电气消防系统是为有效监测建筑物内火灾、迅速控制火灾、扑灭火灾、指挥和引导人员疏散,保护人民生命和财产的安全,在建筑物内按国家有关规范规定设置一套完整、有效的火灾自动报警及消防设备联动控制的系统。

建筑电气消防系统能快速地检测到火灾探测区域内火灾发生时的烟雾或热气或其他报警信号,从而发生声光警报并自动或手动控制灭火系统灭火,同时联动其他消防设施或设备,控制应急照明及疏散标志、应急广播及通信、消防给水和防排烟设施等。建筑电气消防系统的设置与建筑物的使用性质、火灾危险性、疏散和扑救难度等紧密相关。

### 1 防火设计规范的适用范围和建筑物耐火等级划分

#### 1.1 防火设计规范的适用范围

(1)《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)

《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)不适用于炸药厂房(仓库)、花炮厂房(仓库)的建筑防火设计,适用于下列新建、扩建和改建的建筑防火设计:

- 1) 9层及9层以下的居住建筑(包括设置商业服务网点的居住建筑)。
- 2) 建筑高度小于等于24.0m的公共建筑。
- 3) 建筑高度大于24.0m的单层公共建筑。
- 4) 地下、半地下建筑(包括建筑附属的地下室、半地下室)。
- 5) 厂房。
- 6) 仓库。
- 7) 甲、乙、丙类液体储罐(区)。
- 8) 可燃、助燃气体储罐(区)。
- 9) 可燃材料堆场。
- 10) 城市交通隧道。

其中,建筑高度的计算是:当为坡屋面时,应为建筑物室外设计地面到其檐口的高度;当为平屋面(包括有女儿墙的平屋面)时,应为建筑物室外地面到其屋面面层的高度;当同一座建筑物有多种屋面形式时,建筑高度应按上述方法分别计算后取其中最大值;局部突出屋顶的瞭望塔、冷却塔、水箱间、微波天线间或设施、电梯机房、排风和排烟机房以及楼梯出口小间等,可不计入建筑高度内。

建筑层数的计算是:建筑的地下室、半地下室的顶板面高出室外设计地面的高度小于或等于1.5m者,建筑底部设置的高度不超过2.2m的自行车库、储藏室、敞开空间,以及建筑屋顶上突出的局部设备用房、出屋面的楼梯间等,可不计入建筑层数内。住宅顶部为两层一套的跃层,可按1层计,其他部位的跃层以及顶部多于2层一套的跃层,应计入层数。

(2)《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—1995)(2005年版)

《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—1995)(2005年版)不适用于单层主体建筑高度超过24m的体育

馆、会堂、剧院等公共建筑以及高层建筑中的人民防空地下室,适用于下列新建、扩建和改建的高层建筑及其裙房:

- 1) 10层及10层以上的居住建筑(包括首层设置商业服务网点的住宅)。
- 2) 建筑高度超过24m的公共建筑。

高层建筑根据其使用性质、火灾危险性、疏散和扑救难度等进行分类,分为一类高层建筑和二类高层建筑,见表8.2-1。

表8.2-1 高层建筑分类

名称	一类	二类
居住建筑	19层及19层以上的住宅	10~18层的住宅
公共建筑	(1) 医院 (2) 高级旅馆 (3) 建筑高度超过50m或24m以上部分的任一楼层的建筑面积超过1000m <sup>2</sup> 的商业楼、展览馆、综合楼、电信楼、财贸金融楼 (4) 建筑高度超过50m或24m以上部分的任一楼层的建筑面积超过1500m <sup>2</sup> 的商住楼 (5) 中央级和省级(含计划单列市)广播电视楼 (6) 网局级和省级(含计划单列市)电力调度楼 (7) 省级(含计划单列市)邮政楼、防灾指挥调度楼 (8) 藏书超过100万册的图书馆、书库 (9) 重要的办公楼、科研楼、档案楼 (10) 建筑高度超过50m的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、档案楼等	(1) 除一类建筑以外的商业楼、展览楼、综合楼、电信楼、财贸金融楼、商住楼、图书馆、书库 (2) 省级以下的邮政楼、防灾指挥调度楼、广播电视楼、电力调度楼 (3) 建筑高度不超过50m的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、档案楼等

(3)《人民防空工程设计防火规范》(GB 50098—1998)(2001年版)

《人民防空工程设计防火规范》(GB 50098—1998)(2001年版)适用于新建、扩建和改建供下列平时使用的人防工程:

- 1) 商场、医院、旅馆、餐厅、展览厅、公共娱乐场所、小型体育场所和其他适用的民用场所等;
- 2) 按火灾危险性分类属于丙、丁、戊类的生产车间和物品库房等。

(4)《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》(GB 50067—1997)

《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》(GB 50067—1997)适用于新建、扩建和改建的汽车库、修车库、停车场防火设计,不适用于消防站的车库防火设计。

车库的防火分类应分为四类,并应符合表8.2-2的规定。

(5)其他常应用到的各类建筑物防火规范

《石油化工企业设计防火规范》(GB50160—1992)(1999

年版)适用于以石油、天然气及其产品为原料的石油化工新建、扩建或改建工程的防火设计。

表 8.2-2 车库的防火分类

类别 数量 名称	I	II	III	IV
汽车库/辆	>300	151~300	51~150	≤50
修车库/车位	>15	6~15	3~5	≤2
停车场/辆	>400	251~400	101~250	≤100

注 汽车库的屋面亦停放汽车时,其停车数量应计算在汽车库的总车辆数内。

《火力发电厂与变电所设计防火规范》(GB 50229—2006)适用于燃煤的 3~600MW 机组的新建、扩建发电厂以及电压为 35~500kV、单台变压器容量为 5000kVA 及以上的新建地上变电所。

《村镇建筑设计防火规范》(GBJ 39—1990)适用于村镇的规划和生产与民用建筑新建、扩建和改建的工程设计,不适用于炸药、花炮厂(库)。

《原油和天然气工程设计防火规范》(GB 50183—2004)适用于新建、扩建和改建的油气田和管道工程的油气生产、储运工程的设计,不适用于地下和半地下油气厂、站、库工程和海洋石油工程。

《建筑内部装修设计防火规范》(GB 50222—1995)适用于民用建筑和工业厂房的内部装修设计,不适用于古建筑和木结构建筑的内部装修设计。

《水利水电工程设计防火规范》(SDJ 278—1990)适用于新建扩建及改建的大中型水力发电厂(含抽水蓄能电厂)和大型水泵站,小型水力发电厂和中小型水泵站可参照执行。

《装卸油品码头防火设计规范》(JTJ 237—1999)适用于新建、扩建和改建的原油、成品油码头以及常温压力式液化石油气码头的防火设计。临时性油品码头的防火设计应参照执行。液体化工品码头除灭火剂的选择外,可参照本规范执行。

《邮电建筑防火设计标准》(YD 5002—1994)适用于新建的电信综合局、长途电话局、电报局、市内电话局,微波站、地球站;一级干线的邮件处理中心和二级干线的邮件处理中心。改建、扩建的上述建筑参照执行。

《飞机库设计防火规范》(GB 50284—1997)适用于新建、扩建和改建的飞机库防火设计。

1.2 建筑物耐火等级划分

(1) 厂房(仓库)的耐火等级

可分为一~四级。其构件的燃烧性能和耐火极限除《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)另有规定者外,不应低于表 8.2-3 的规定。

下列建筑中的防火墙,其耐火极限应按表 8.2-3 的规定提高 1.00h:

- 1) 甲、乙类厂房。
- 2) 甲、乙、丙类仓库。

一、二级耐火等级的单层厂房(仓库)的柱,其耐火极限可按表 8.2-3 的规定降低 0.50h。

下列二级耐火等级建筑的梁、柱可采用无防火保护的金属结构,其中能受到甲、乙、丙类液体或可燃气体火焰影响

的部位,应采取外包敷不燃材料或其他防火隔热保护措施:

- 1) 设置自动灭火系统的单层丙类厂房。
- 2) 丁、戊类厂房(仓库)。

一、二级耐火等级建筑的非承重外墙应符合下列规定:

除甲、乙类仓库和高层仓库外,当非承重外墙采用不燃烧体时,其耐火极限不应低于 0.25h;当采用难燃烧体时,不应低于 0.50h。

表 8.2-3 厂房(仓库)建筑构件的燃烧性能

和耐火极限 单位: h

构件名称	耐火等级			
	一级	二级	三级	四级
防火墙	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00
承重墙	不燃烧体 3.00	不燃烧体 2.50	不燃烧体 2.00	难燃烧体 0.50
楼梯间和电梯井的墙	不燃烧体 2.00	不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.50	难燃烧体 0.50
疏散走道两侧的隔墙	不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
非承重外墙	不燃烧体 0.75	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
房间隔墙	不燃烧体 0.75	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
柱	不燃烧体 3.00	不燃烧体 2.50	不燃烧体 2.00	难燃烧体 0.50
梁	不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	难燃烧体 0.50
楼板	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.75	难燃烧体 0.50
屋顶承重构件	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	难燃烧体 0.50	燃烧体
疏散楼梯	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.75	燃烧体
吊顶(包括吊顶搁栅)	不燃烧体 0.25	难燃烧体 0.25	难燃烧体 0.15	燃烧体

注 二级耐火等级建筑的吊顶采用不燃烧体时,其耐火极限不限。

4 层及 4 层以下的丁、戊类地上厂房(仓库),当非承重外墙采用不燃烧体时,其耐火极限不限;当非承重外墙采用难燃烧体的轻质复合墙体时,其表面材料应为不燃材料、内填充材料的燃烧性能不应低于 B2 级。B1、B2 级材料应符合现行国家标准《建筑材料燃烧性能分级方法》(GB 8624—2006)的有关要求。

二级耐火等级厂房(仓库)中的房间隔墙,当采用难燃烧体时,其耐火极限应提高 0.25h。

二级耐火等级的多层厂房或多层仓库中的楼板,当采用预应力和预制钢筋混凝土楼板时,其耐火极限不应低于 0.75h。

一、二级耐火等级厂房(仓库)的上人平屋顶,其屋面板的耐火极限分别不应低于 1.50h 和 1.00h。

一级耐火等级的单层、多层厂房(仓库)中采用自动喷水灭火系统进行全保护时,其屋顶承重构件的耐火极限不应低于 1.00h。

二级耐火极限厂房的屋顶承重构件可采用无保护层的金属构件,其中能受到甲、乙、丙类液化火焰影响的部位应采取防火隔热保护措施。

一、二级耐火等级厂房(仓库)的屋面板应采用不燃烧材料,但其屋面防水层和绝热层可采用可燃材料;当丁、戊类厂房(仓库)不超过 4 层时,其屋面可采用难燃烧体的轻

质复合屋面板,但该板材的表面材料应为不燃烧材料,内填充材料的燃烧性能应不低于B2级。

除《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)另有规定者外,以木柱承重且以不燃烧材料作为墙体的厂房(仓库),其耐火等级应按四级确定。

预制钢筋混凝土构件的节点外露部位,应采取防火保护措施,且该节点的耐火极限不应低于相应构件的规定。

(2) 适用于《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)的民用建筑耐火等级

1) 《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)中规定的民用建筑耐火等级分为一、二、三、四级,除该规范另有规定者外,不同耐火等级建筑物相应构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表8.2-4的规定。

表 8.2-4 民用建筑物构件的燃烧性能和耐火极限 单位: h

构件名称	耐火等级			
	一级	二级	三级	四级
防火墙	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00
承重墙	不燃烧体 3.00	不燃烧体 2.50	不燃烧体 2.00	难燃烧体 0.50
非承重外墙	不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.50	燃烧体
楼梯间的墙	不燃烧体	不燃烧体	不燃烧体	难燃烧体
电梯井的墙	不燃烧体	不燃烧体	不燃烧体	难燃烧体
住宅单元之间的墙	2.00	2.00	1.50	0.50
住宅分户墙	不燃烧体	不燃烧体	不燃烧体	难燃烧体
疏散走道 两侧的隔墙	不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
房间隔墙	不燃烧体 0.75	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
柱	不燃烧体 3.00	不燃烧体 2.50	不燃烧体 2.00	难燃烧体 0.50
梁	不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	难燃烧体 0.50
楼 板	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.50	燃烧体
屋顶承重构件	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	燃烧体	燃烧体
疏散楼梯	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.50	燃烧体
吊顶(包括吊顶搁栅)	不燃烧体 0.25	难燃烧体 0.25	难燃烧体 0.15	燃烧体

注 1. 除《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)另有规定者外,以木柱承重且以不燃烧材料作为墙体的建筑物,其耐火等级应按四级确定;

2. 二级耐火等级建筑的吊顶采用不燃烧体时,其耐火极限不限;

3. 在二级耐火等级的建筑中,面积不超过100m<sup>2</sup>的房间隔墙,如执行本表的规定确有困难时,可采用耐火极限不低于0.3h的不燃烧体;

4. 一、二级耐火等级建筑疏散走道两侧的隔墙,按本表规定执行确有困难时,可采用0.75h不燃烧体。

2) 二级耐火等级的建筑,当房间隔墙采用难燃烧体时,其耐火极限应提高0.25h。

3) 一、二级耐火等级建筑的上人平屋顶,其屋面板的耐火极限分别不应低于1.50h和1.00h。

4) 一、二级耐火等级建筑的屋面板应采用不燃烧材料,但其屋面防水层和绝热层可采用可燃材料。

5) 二级耐火等级住宅的楼板采用预应力钢筋混凝土楼板时,该楼板的耐火极限不应低于0.75h。

6) 三级耐火等级的下列建筑或部位的吊顶,应采用不燃烧体或耐火极限不低于0.25h的难燃烧体。

①医院、疗养院、中小学校、老年人建筑及托儿所、幼儿园的儿童用房和儿童游乐厅等儿童活动场所。

②3层及3层以上建筑中的门厅、走道。

(3) 高层民用建筑的耐火等级

1) 高层民用建筑的耐火等级应分为一、二两级,其建筑构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表8.2-5的规定。

表 8.2-5 高层民用建筑构件的燃烧性能和耐火极限

构件名称	燃烧性能和耐火极限(h)	耐火等级	
		一级	二级
防火墙		不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00
承重墙、楼梯间的墙、电梯井的墙、住宅单元之间的墙、住宅分户墙		不燃烧体 2.00	不燃烧体 2.00
非承重外墙、疏散走道两侧的隔墙		不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00
房间隔墙		不燃烧体 0.75	不燃烧体 0.50
柱		不燃烧体 3.00	不燃烧体 2.50
梁		不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.50
楼板、疏散楼梯、屋顶承重构件		不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00
吊顶		不燃烧体 0.25	难燃烧体 0.25

预制钢筋混凝土构件的节点缝隙或金属承重构件节点的外露部位,必须加设防火保护层,其耐火极限不应低于表8.2-5相应建筑构件的耐火极限。

2) 一类高层建筑的耐火等级应为一、二级,二类高层建筑的耐火等级应不低于二级。

裙房的耐火等级不应低于二级。高层建筑地下室的耐火等级应为一、二级。

3) 二级耐火等级的高层建筑中,面积不超过100m<sup>2</sup>的房间隔墙,可采用耐火极限不低于0.50h的难燃烧体或耐火极限不低于0.30h的不燃烧体。

4) 二级耐火等级高层建筑的裙房,当屋顶不上人时,屋顶的承重构件可采用耐火极限不低于0.50h的不燃烧体。

5) 高层建筑内存放可燃物的平均重量超过200kg/m<sup>2</sup>的房间,当不设自动灭火系统时,其柱、梁、楼板和墙的耐火极限应按《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—1995)第3.0.2条的规定提高0.50h。

6) 建筑幕墙的设置应符合下列规定:

窗槛墙、窗间墙的填充材料应采用不燃烧材料。当外墙采用耐火极限不低于1.00h的不燃烧体时,其墙内填充材料可采用难燃烧材料。

无窗槛墙或窗槛墙高度小于0.80m的建筑幕墙,应在每层楼板外沿设置耐火极限不低于1.00h、高度不低于0.80m的不燃烧体裙墙或防火玻璃裙墙。

建筑幕墙与每层楼板、隔墙处的缝隙,应采用防火封堵材料封堵。

高层建筑的室内装修,应按现行国家标准《建筑内部装修设计防火规范》(GB 50222—1995)的有关规定执行。

(4) 人防工程的耐火等级



人防工程的耐火等级应为一級，其出入口地面建筑物的耐火等级不应低于二级。其建筑构件的燃烧性能和耐火极限最小时间可参考表 8.2-5 的规定。

(5) 汽车库、修车库的耐火等级

汽车库、修车库的耐火等级应分为三级，各级耐火等级建筑物构件的燃烧性能和耐火极限均不应低于表 8.2-6 的规定。

1) 地下汽车库的耐火等级应为一級。

2) 甲、乙类物品运输车的汽车库、修车库和 I、II、III 类的汽车库、修车库的耐火等级不应低于二级 [甲、乙类物品的火灾危险性分类应按现行的国家标准《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006) 的规定执行]。

3) IV 类汽车库、修车库的耐火等级不应低于三级。

表 8.2-6 各级耐火等级建筑物  
构件的燃烧性能和耐火极限

燃烧性能和耐火极限(h)		耐火等级		
		一级	二级	三级
墙	防火墙	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00
	承重墙、楼梯间的墙、 防火隔墙	不燃烧体 2.00	不燃烧体 2.00	不燃烧体 2.00
	隔墙、框架 填充墙	不燃烧体 0.75	不燃烧体 0.50	不燃烧体 0.50
柱	支承多层的柱	不燃烧体 3.00	不燃烧体 2.50	不燃烧体 2.50
	支承单层的柱	不燃烧体 2.50	不燃烧体 2.00	不燃烧体 2.00
梁		不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00
楼板		不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.50
疏散楼梯、坡道		不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00
屋顶承重构件		不燃烧体 1.50	不燃烧体 0.50	燃烧体
吊顶(包括吊顶搁棚)		不燃烧体 0.25	不燃烧体 0.25	难燃烧体 0.15

注 预制钢筋混凝土构件的节点缝隙或金属承重构件的外露部位应加设防火保护层，其耐火极限不应低于本表相应构件的规定。

2 火灾自动报警系统保护对象分级

火灾自动报警系统的保护对象应根据其使用性质、火灾危险性、疏散和扑救难度等分为特级、一级、二级和三级，并宜符合表 8.2-7 的规定。

表 8.2-7 火灾自动报警系统保护对象分级

等级	保护对象	
特级	建筑高度超过 100m 的高层建筑	
一级	居住建筑	十九层及以上的居住建筑
	建筑高度不超过 100m 的高层公共建筑	一类建筑

续表

等级	保护对象	
一级	建筑高度不超过 24m 的公共建筑及建筑高度超过 24m 的单层公共建筑	(1) 200 床及以上的病房楼，每层建筑面积 1000m <sup>2</sup> 及以上的门诊楼、疗养院、老年人建筑、儿童活动场所 (2) 任一层建筑面积超过 3000m <sup>2</sup> 或总建筑面积大于 6000m <sup>2</sup> 的商店、展览建筑、旅馆、财贸金融建筑、办公楼、教学楼、实验楼 (3) 图书、文物珍藏库(馆)，藏书超过 100 万册的图书馆、书库，重要的档案库(馆) (4) 超过 3000 座位的体育馆 (5) 重要的科研楼 (6) 省级及以上(含计划单列市)广播电视建筑、邮政楼、电信楼、电力调度楼、防灾指挥调度楼 (7) 设有大中型电子信息系统机房、记录介质库，特殊贵重或火灾危险性大的机器、仪表、仪器设备室、贵重物品库房的建筑 (8) 重点文物保护单位 (9) 大型及以上影剧院、会堂、礼堂 (10) 特大型、大型铁路旅客车站、航站楼、一级和二级汽车客运站、港口客运站
		(1) 甲、乙类厂房 (2) 甲、乙类库房 (3) 占地面积或总建筑面积超过 1000m <sup>2</sup> 的丙类库房，占地面积超过 500m <sup>2</sup> 或总建筑面积超过 1000m <sup>2</sup> 的卷烟库房 (4) 总建筑面积超过 1000m <sup>2</sup> 的地下丙、丁类厂房及库房 (5) 任一层建筑面积大于 1500m <sup>2</sup> 或总面积大于 3000m <sup>2</sup> 的制鞋、制衣、玩具厂房
		(1) 城市轨道交通地下车站和区间隧道、长度超过 1000m 的城市地下通道(隧道) (2) 地下或半地下影剧院、礼堂 (3) 建筑面积超过 1000m <sup>2</sup> 的地下或半地下商场、医院、旅馆、展厅及其他公共场所 (4) 重要的实验实，图书、资料、档案库
二级	居住建筑	十层至十八层的居住建筑
	建筑高度不超过 100m 的高层公共建筑	二类建筑
	建筑高度不超过 24m 的公共建筑	(1) 任一层建筑面积超过 2000m <sup>2</sup> 但不超过 3000m <sup>2</sup> 或总面积不超过 6000m <sup>2</sup> 的商店、展览建筑、旅馆、财贸金融建筑、办公楼、教学楼、实验楼 (2) 市、县级广播电视建筑、邮政楼、电信楼、电力调度楼、防灾指挥调度楼 (3) 中型及以下影剧院 (4) 设置在地上四层及以上的歌舞娱乐放映游艺场所 (5) 图书馆、书库、档案库(馆) (6) 中型铁路旅客车站，三级和四级汽车客运站、港口客运站、城市轨道交通地面和地上高架车站 (7) 200 床以下的病房楼，每层建筑面积 1000m <sup>2</sup> 以下的门诊楼、疗养院、老年人建筑、儿童活动场所

续表

等级	保 护 对 象	
二级	工业建筑	(1) 丙类厂房 (2) 建筑面积大于 500m <sup>2</sup> 但不超过 1000m <sup>2</sup> 的丙类库房 (3) 总建筑面积大于 500m <sup>2</sup> 但不超过 1000m <sup>2</sup> 的地下丙、丁类厂房及库房
	地下公共建筑	(1) 长度超过 500m 的城市地下通道(隧道) (2) 建筑面积超过 500m <sup>2</sup> 但不超过 1000m <sup>2</sup> 的地下或半地下商店、医院、旅馆、展厅及其他公共场所 (3) 地下或半地下歌舞娱乐放映游艺场所
三级	居住建筑	十层以下的居住建筑
	建筑高度不超过 24m 的公共建筑	一级和二级保护以外的公共建筑

注 1. 一类建筑、二类建筑的划分,应符合现行国家标准《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—1995)的规定;工业厂房、仓库的火灾危险性分类,应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)的规定。

2. 本表未列出的建筑的等级可按同类建筑的类比原则确定。

### 3 建筑电气消防系统的组成和分类

#### 3.1 建筑电气消防系统的组成

建筑电气消防系统的核心是“火灾探测报警和消防设备联动控制系统”(简称“火灾自动报警系统”)。其组成结构如图 8.2-1 所示。

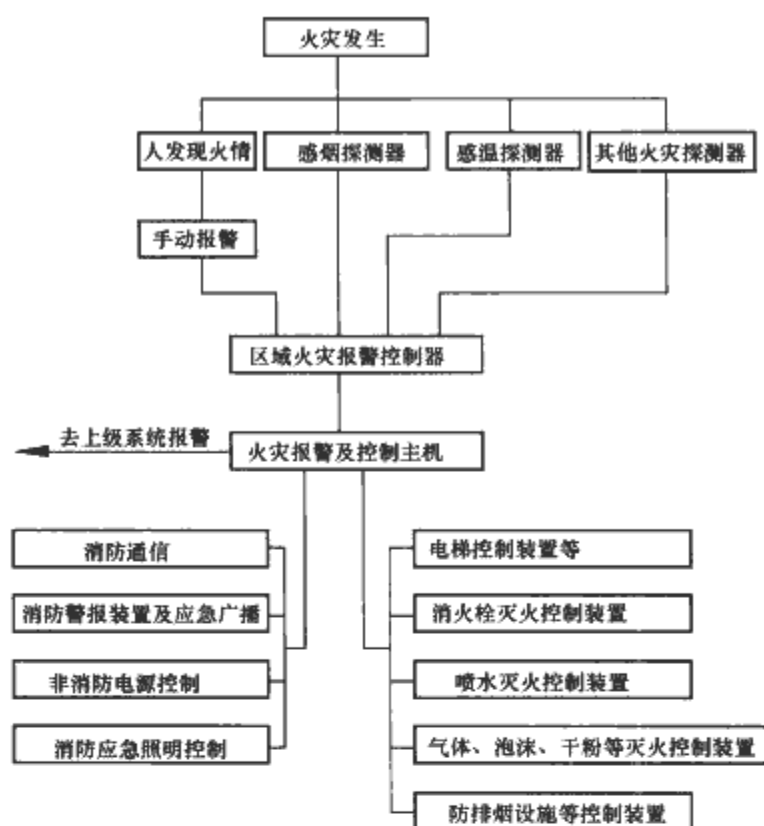


图 8.2-1 建筑电气消防系统的组成结构

#### 3.2 建筑电气消防系统的分类

建筑电气消防系统按报警方式划分,可分为人工报警和自动报警两类。人工报警即在人员发现火情后,通过手动操作装置(如:手动报警按钮)进行报警;自动报警由火灾探测器来实现,感应火情后自动在消控室显示并报警,然后联动消防设备引导人员疏散和进行灭火操作等。

消防系统的灭火方式可分为人工灭火和自动灭火两类。两者的不同点在于人工灭火为消防人员根据报警情况采取人工操作或措施进行灭火;自动灭火是系统接收到火灾报警信号后,立即发出疏散指令,并联动消防泵和电动防火门等消防设备,从而实现自动消防。

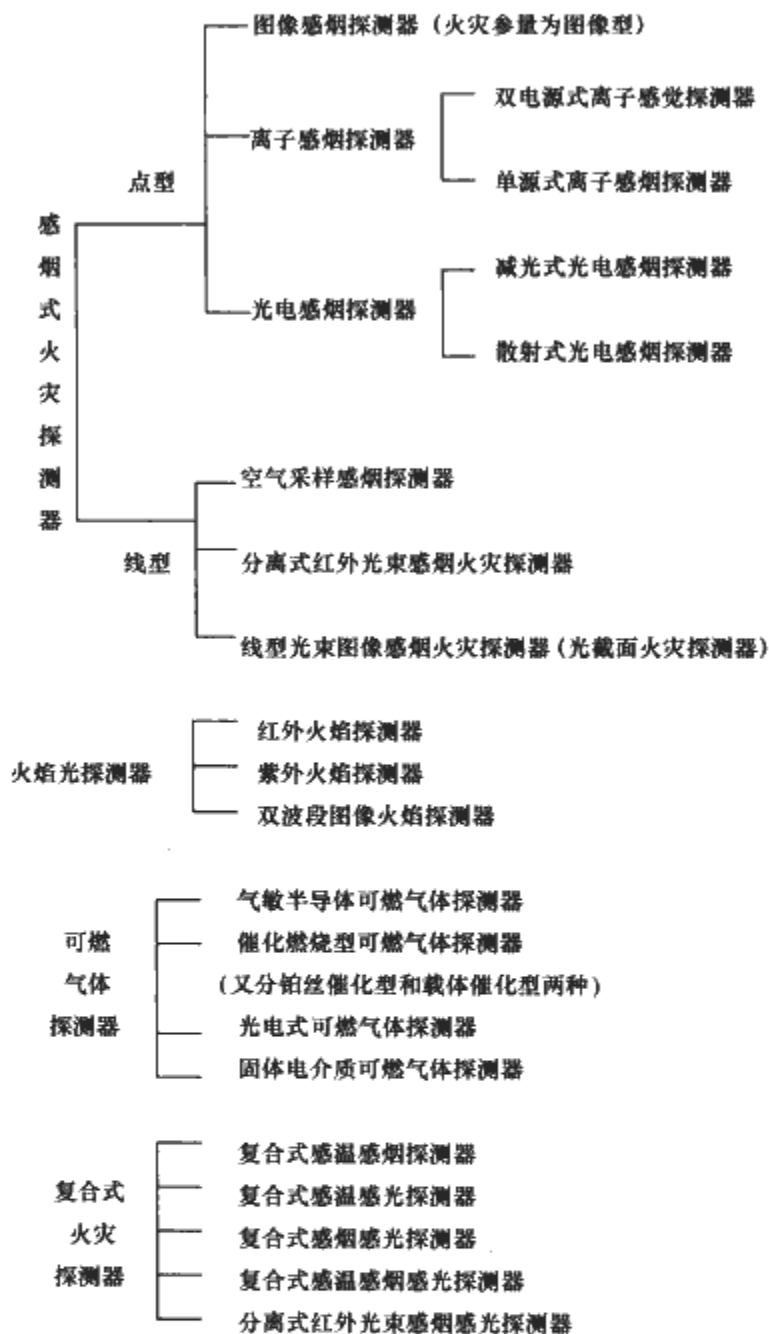
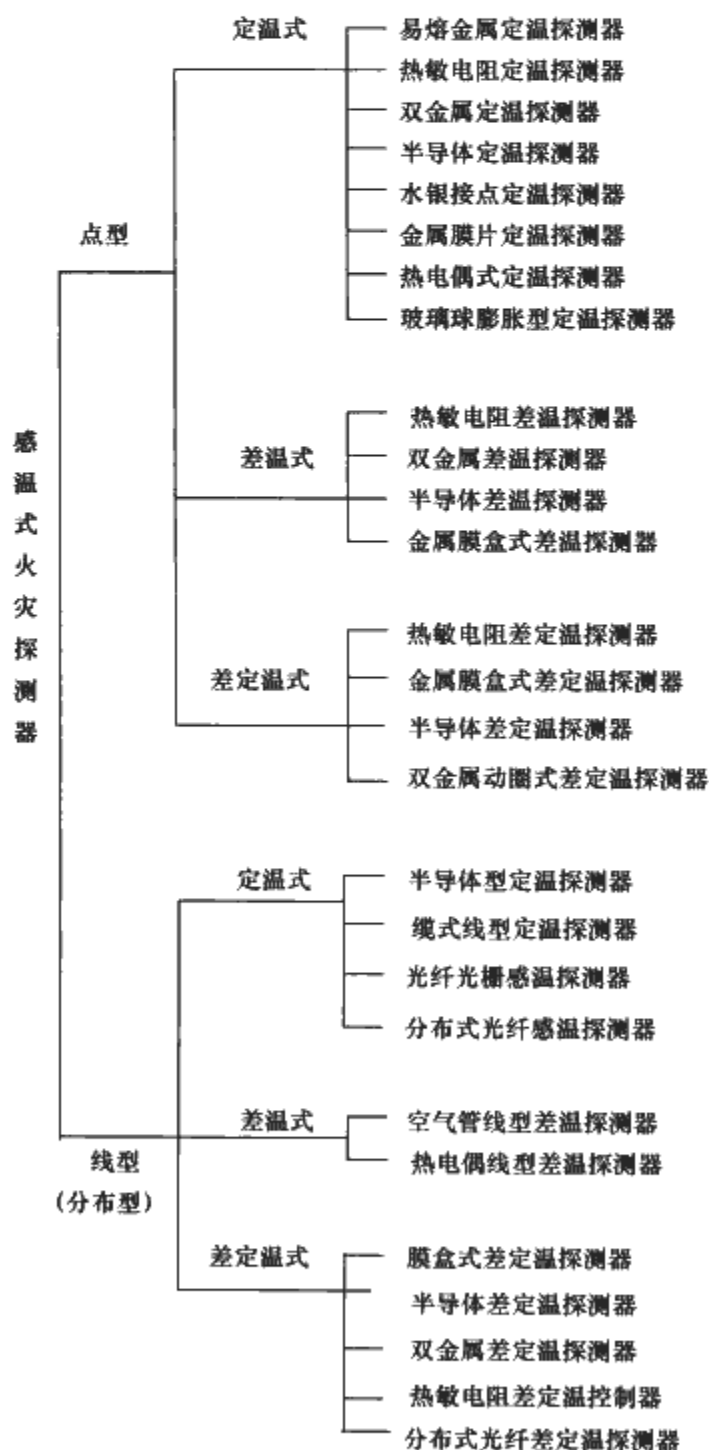
## 第3章 消防报警系统设备

### 1 火灾探测器

#### 1.1 火灾探测器的分类及型号

##### (1) 火灾探测器的分类

不同物质及其在不同场所有不同的燃烧性能，火灾探测器应能对不同物体的火灾进行探测。目前常用探测器有感烟、感温、感光、复合及可燃气体探测器五种系列。另外，根据探测器警戒范围的不同又分为点型和线型两种型式，具体分类如下：



##### (2) 火灾探测器产品型号编制

根据中华人民共和国公共安全行业标准《火灾探测器产品型号编制方法》(GA/T 227—1999) (1999年10月1日起执行) 规定，火灾探测器的产品型号编制如图 8.3-1 所示：

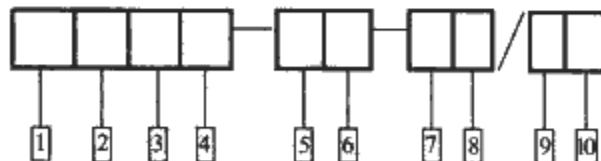


图 8.3-1 火灾探测器的产品型号编制

①表示消防产品中的火灾报警设备分类代号，采用“J”表示。

②表示火灾探测器类型分组代号，各种火灾探测器的具体表示方法是：Y——感烟火灾探测器；W——感温火灾探测器；G——感光火灾探测器；Q——气体敏感火灾探测器；T——图像摄像方式火灾探测器；S——感声火灾探测器；F——复合式火灾探测器。

[3][4]火灾探测器应用范围特征代号,表示方法是:防爆型用B(在前),普通型省略;船用型用C(在后),普通型省略。

[5]火灾探测器中传感器特征代号,常用表示方法如下:

1) 感烟火灾探测器采用如下表示:L——离子;G——光电;H——红外光束;LX——吸气型离子;GX——吸气型光电。

2) 感温火灾探测器采用两个字母表示,其中第一个字母采用如下字符表示:M——膜盒;S——双金属;Q——玻璃球;G——空气管;J——易熔金属;L——热敏电缆;O——热电偶;B——半导体;Y——水银接点;Z——热敏电阻;R——易熔材料;X——光纤。

第二个字母采用如下字符表示:D——定温;C——差温;O——差定温。

3) 感光火灾探测器采用:Z——紫外;H——红外;D——多波段。

4) 气体敏感火灾探测器采用:B——半导体;C——催化。

5) 复合火灾探测器采用上述代号组合,图像摄像方式和感声式火灾探测器特征省略。

[6]表示火灾探测器的传输方式代号,表示方法是:W——无限传输方式;M——编码方式;F——非编码方式。

[7][8]表示厂家及产品代号,一般是4~6位,前2~3位采用字母表示厂家代号,其后采用数字表示产品序列号。

[9][10]火灾探测器主参数和自带报警声响标志,一般定温、差定温火灾探测器用灵敏度级别表示,差温、感烟火灾探测器无需反映,其他火灾探测器采用能够代表其响应特征参数表示。

在《火灾探测器产品型号编制方法》(GA/T 227—1999)执行之前,我国颁布了一个专业标准《火灾探测器产品型号编制方法》(ZBC 81001—1984)(1984年起执行,1999年10月1日起废止)。例如:JTY—LZ—F732、JTY—GD—2700/001、JTW—DZ—262/062、JTW—CDZ—262/061等火灾探测器就是按ZBC 81001—1984标准编制的产品型号。

## 1.2 火灾探测器性能指标

### (1) 工作电压和允差

工作电压是指火灾探测器正常工作时所需的电源电压;火灾探测器的工作电压统一规定为DC24V。

允差是指火灾探测器工作电压允许波动的范围。按照国家标准规定,允差为额定工作电压的-15%~10%。

### (2) 响应阈值和灵敏度

响应阈值是指火灾探测器动作的最小参数值,不同类型火灾探测器的响应阈值单位量纲也不相同。点型感烟式火灾探测器响应阈值为减光系数 $m$ 值(dB/m)或烟离子对电离室中电离电流作用的参数 $Y$ 值(无量纲);线型感烟式火灾探测器的响应阈值是采用代表紫外线辐射强度的单位长度、单位时间的脉冲数(光敏管受光强照射后发出的脉冲数);定温式火灾探测器的响应阈值为温度值( $^{\circ}\text{C}$ );差温式火灾探测器的响应阈值为温升速率值( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ );气体火灾探测器的响应阈值采用气体的浓度值。

灵敏度是指火灾探测器响应火灾参数的敏感程度。一般将火灾探测器的灵敏度分为三级,供探测器在不同的环境条

件下使用。

### (3) 监视电流

监视电流是指火灾探测器处于监视状态下的工作电流。监视电流表示了火灾探测器在监视状态下的功耗,因此要求火灾探测器的监视电流越小越好。

### (4) 允许的最大报警电流

指火灾探测器处于报警状态时允许的最大工作电流。若超过此电流值,火灾探测器就可能损坏。允许最大报警电流越大,表明火灾探测器的负载能力越强。

### (5) 报警电流

指处于报警状态时的工作电流。此值小于最大报警电流。报警电流值和允差值决定了火灾探测报警系统中火灾探测器的最远安装距离,以及在一个地址码允许并接的火灾探测器数量。

### (6) 工作环境条件

指环境温度、相对湿度、气流速度和清洁程度等,通常要求火灾探测器对工作环境的适应性越强越好。

## 1.3 探测器的构造及原理

### 1.3.1 感烟探测器

常用的感烟探测器有离子感烟探测器、光电感烟探测器及红外光束感烟探测器等。因大多数的火灾早期都会产生烟,所以感烟探测器的应用也最为广泛,它对火灾前期及早期报警很有效。

#### (1) 离子感烟探测器

离子感烟探测器有双源双室(式)和单源双室(式)之分,它利用放射源制成敏感元件,由放射性同位素释放的高能量 $\alpha$ 射线将局部空间的空气电离产生正、负离子,在外加电压的作用下形成离子电流,当火灾产生的烟雾及燃烧产物(烟雾气溶胶)进入电离空间(即电离室)时,表面积较大的烟雾粒子将吸附其中的带电离子,产生离子电流变化,经电子线路加以检测,从而获得与烟浓度有直接关系的电信号,用于火灾确认和报警。其电路原理示意如图8.3-2所示。

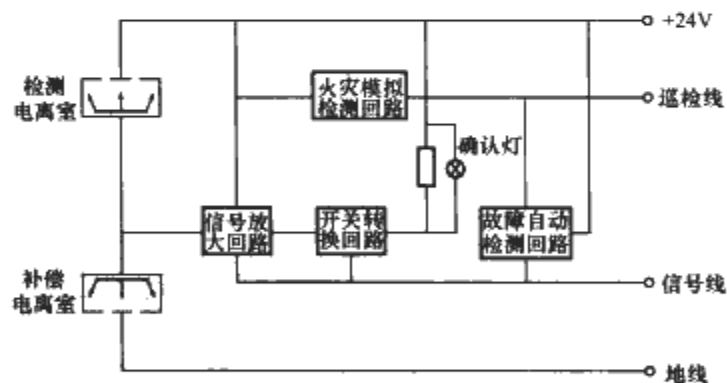


图 8.3-2 离子感烟探测器的电路原理示意

#### (2) 光电感烟探测器

它是利用烟雾粒子对红外、可见和紫外光谱的吸收和散射的原理做成的感烟探测器。光电感烟探测器根据其结构和原理分为遮光型和散射型两种。通常线型感烟探测器采用遮光型,点型感烟探测器采用散射型。

1) 散射光型感烟探测器。如图8.3-3为典型的散射光型光电感烟探测器电路原理图。当烟雾进入遮光暗室时,烟雾粒子对发光元件发出的一定波长的光产生散射作用,使得处于一定夹角位置的受光元件接收到光信号,产生光电流。此光电流的大小与散射光强弱有关,还与烟粒子的浓度、光波波长和粒径大小有关。当烟粒子浓度达到一定值时,散射

光的能量就足以产生一定大小的激励用光电流，可以用于激励遮光暗室外部的信号处理电路发出火灾报警信号。

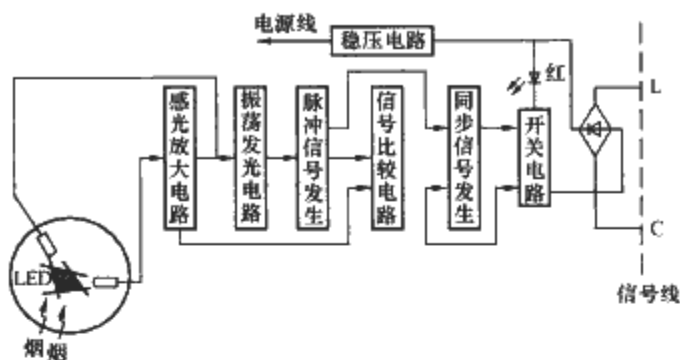


图 8.3-3 典型的散射光型光电感烟探测器电路原理

按照散射光型光电感烟探测器电路原理，采用不同的火灾信息数据处理方法和电路结构，可以构成不同形式的开关量光电感烟式火灾探测器以及类比式模拟量和智能化光电感烟式火灾探测器。

2) 遮光型（或减光型）光电感烟型探测器。由一个光源（灯泡或发光二极管）和一个光敏元件（硅光电池）对应装置在小暗室（即检测暗室）里构成，在正常（无烟）情况下，光源发出的光通过透镜聚成光束，照射到光敏元件上，并将其转换成电信号，使整个电路维持正常状态，不发生报警。发生火灾时烟雾存在时，光源发出的光线受烟粒子的散射和吸收作用，使光的传播特性改变，光敏元件接收的光强明显减弱，电路正常状态被破坏，则发出声光报警。如图 8.3-4 为遮光型光电感烟探测器电路原理图。

光电流相对于初始标定值的变化量大小，反映了烟雾的浓度大小，据此采用不同的火灾信息数据处理方法及对比、运算，可以构成不同形式的开关量火灾探测器以及类比式模拟量和智能式火灾探测器。

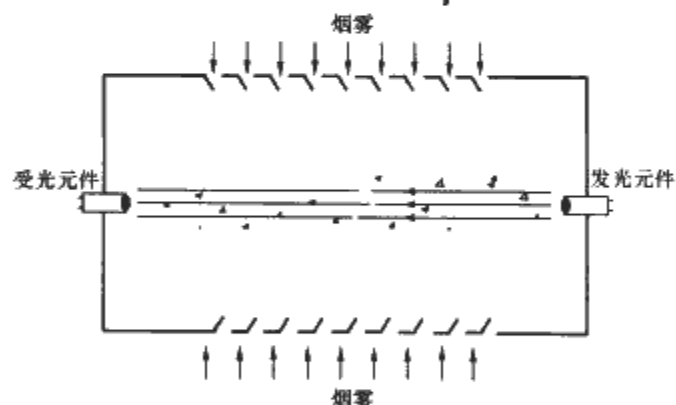


图 8.3-4 减光型光电感烟探测器电路原理

### (3) 红外光束感烟探测器

这种探测器通常由发射器和接收器两部分组成。在正常情况下红外光束探测器的发射器发送一个不可见的、波长为 940nm 的脉冲红外光束，它经过保护空间不受阻挡地射到接收器的光敏元件上。当发生火灾时，由于受保护空间的烟雾气溶胶扩散到红外光束内，使到达接收器的红外光束衰减，接收器接收的红外光束辐射通量减弱，当辐射通量减弱到预定的感烟动作阈值（响应阈值）。例如，有的厂家设定在光束减弱超过 40%（且小于 93%）时，如果保持衰减 5s（或 10s）时间，探测器立即动作，发出火灾报警信号。其安装示意图如图 8.3-5 所示。

红外光束感烟探测器具有安装简单、方便，光路准直性好；保护面积大，安装位置较高；具有自动补偿功能，对于一定程度上的灰尘污染、位置偏移及发射管的老化等致使接收信号减小的因素可自动进行补偿；可现场设置三个级别的

灵敏度，适用于不同扬尘程度的场所；尤其适宜保护难以使用点型感烟探测器甚至根本不可能使用点型感烟探测器的场所，如：古建筑、文物保护的厅堂馆所等；变电站、发电厂等；隧道工程；遮挡大空间的库房、飞机库、纪念馆、档案馆、博物馆等。但对有剧烈振动的场所、有日光照射或强红外光辐射源的场所、在保护空间有一定浓度的灰尘、水气粒子且粒子浓度变化较快的场所不宜使用。

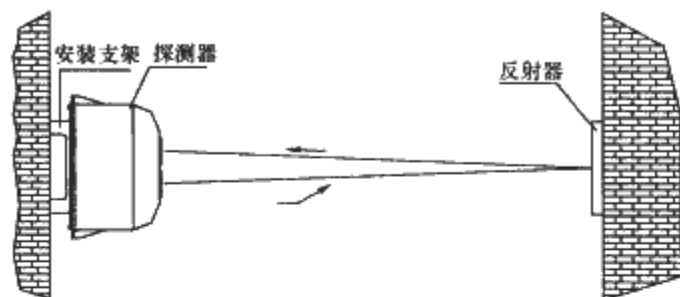


图 8.3-5 红外光束感烟探测器安装示意图

### (4) 线型光束图像感烟火灾探测器

线型光束图像感烟火灾探测器又称为光截面火灾探测器，是一种智能型感烟火灾探测器，采用光截的图像感烟火灾探测技术，在探测方式上属于线性光束感烟火灾探测器，适用于大空间和其他特殊空间进行感烟火灾探测。它可对被保护空间实施任意曲面覆盖，不需要准直光路，具有分辨发射光源与干扰光源的能力，响应时间短。由图像感烟发射器和图像感烟接收器两个部分（简称发射器和接收器）配套使用，使用时每只接收器可对应多只发射器，发射器的数量根据现场情况决定。探测器为防护罩内安装，对环境适应能力强（灰尘、潮湿、温度、一般腐蚀性气体等）；根据不同场所的要求，报警灵敏度可现场编程灵活设定。其外型尺寸如图 8.3-6 所示。

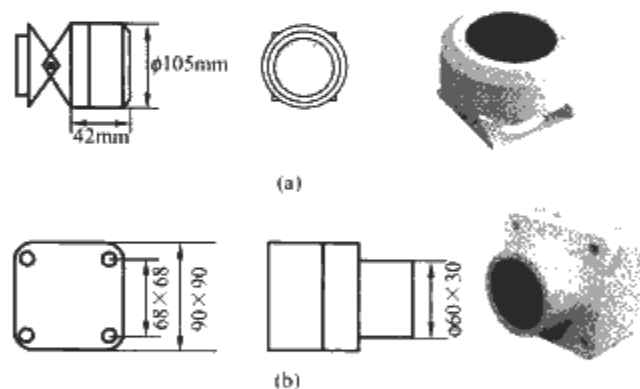


图 8.3-6 线型光束图像感烟火灾探测器的外形图  
(a) 发射器外形尺寸；(b) 接收器外形尺寸

### (5) 空气采样感烟火灾探测器

空气采样感烟火灾探测器是通过管道抽取被保护空间的空气样本到中心检测室，以监视被保护空间内烟雾存在与否的火灾探测器。该探测器能够通过测试空气样本，了解烟雾的浓度，并根据预先确定的响应阈值给出相应的报警信号。

普通的空气采样式感烟火灾探测系统，一般是在吸气管道辅以普通点型感烟火灾探测器，或采用模拟的传感元件作为烟粒子探测器，其烟雾探测原理与普通点型感烟探测器大体相同。高灵敏度空气采样式感烟火灾探测器工作方式为主动吸气工作方式，主动抽取空气样本并进行烟粒子（包括不可见烟粒子）探测计数分析；同时，它采用独特设计的检测室和现代高科技技术——激光器件，使可靠性和灵敏度提高了近千倍。它适用于在洁净环境中进行火灾检测，如计算机房、制药厂房等。它对初期火灾具有极灵敏的反应，可提

前预报火灾隐患。

### 1.3.2 火焰探测器

点型火焰探测器是一种对火焰中特定波段中的电磁辐射敏感(红外、可见和紫外谱带)的火灾探测器,又称感光探测器。电磁辐射的传播速度极快,因此,这种探测器对快速发生的火灾(譬如易燃、可燃液化火灾)或爆炸能够及时响应,是对这类火灾早期通报火警的理想探测器。响应波长低于400nm辐射能通量的探测器称紫外火焰探测器,响应波长高于700nm辐射能通量的探测器称作红外火焰探测器。

#### (1) 紫(红)外火焰探测器

以紫外火焰探测器为例来说明其构造及原理。紫外火焰探测器由圆柱形紫外充气光敏感、自检管、屏蔽套、反光环、石英窗口等组成,如图8.3-7(a)所示,工作原理如图8.3-7(b)所示。

当光敏管接收到185~245nm的紫外线时,产生电离作用而放电,使其内阻变小,导电电流增加,使电子开关导通,光敏管工作电压降低,当电压降低到 $U_{\text{熄灭}}$ 电压时,光敏管停止放电,使导电电流减小,电子开关断开,此时电源电压通过RC电路充电,又使光敏管的工作电压重新升高到 $U_{\text{导通}}$ 电压,于是又重复上述过程,这样便产生了一串脉冲,脉冲的频率与紫外线强度成正比,同时与电流参数有关。

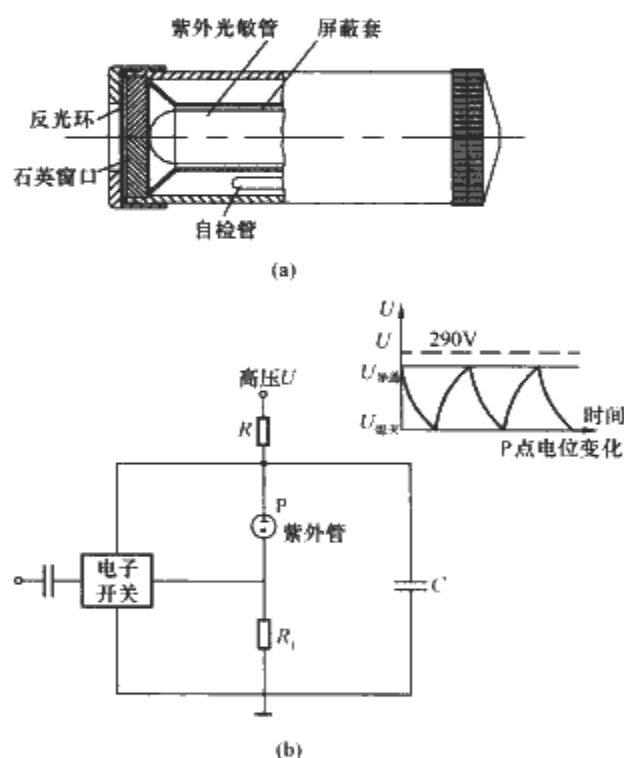


图 8.3-7 紫外火焰探测器

(a) 紫外火焰探测器构造; (b) 紫外火焰探测器原理

智能紫外火焰探测器不宜安装在可能发生无焰火灾的场所、不宜安装在火焰出现前有浓烟扩散的场所、不宜安装在探测器的镜头易被污染的场所、不宜安装在探测器的“视线”易被遮挡的场所、不宜安装在探测器易受阳光或其他光源直接或间接照射的场所、不宜安装在正常情况下有明火作业以及X射线、弧光和雷电等影响的场所。

#### (2) 双波段火灾探测器

双波段火灾探测器,采用双波段火灾探测技术,在探测试验上属于感火焰型火灾探测器,具有同时获取现场的火灾信息和图像信息的功能特点。它由红外CCD和彩色CCD组成,可将采集到的红外视频图像信号/彩色视频图像信号传送给信息处理主机,使火灾探测和图像监控得到有机的结合。结构图如图8.3-8(a)所示,外形尺寸如图8.3-8(b)

所示。双波段火灾探测器采用非接触式探测,可以在防护罩内安装,具有防尘、防潮、防腐蚀功能,对环境因素适应能力强,它适用于大空间和其他特殊空间场所,如家具城、展览厅、体育馆、大型仓库、生产车间、物资库、油库等,也可用于环境恶劣的工业场所。

双波段火灾探测器工作原理是:

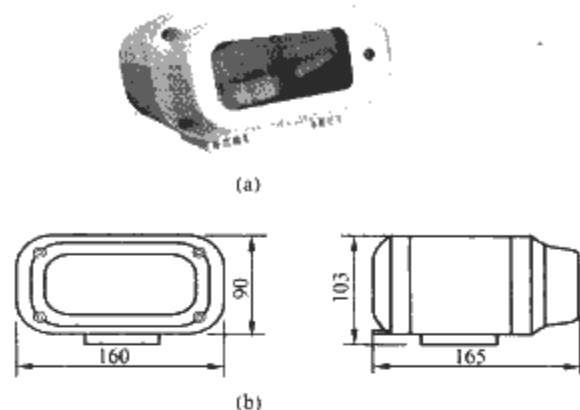


图 8.3-8 双波段红外探测器  
(a) 结构图; (b) 外形尺寸图

1) 利用红外影像探测有较强热辐射的部位,当发现有较强热辐射的部位时,继续对可疑点进行跟踪、摄像与探测。

2) 利用能量增长趋势判据对可疑点进行判别,当可疑点的能量呈增长趋势时,进一步对可疑点进行跟踪判断。

3) 根据失控燃烧的频闪特性,利用序列影像计算可疑区域的能量频闪频率,当频闪频率超过火灾频闪频率或低于火灾的频闪频率时,可以判断该区域不是由燃烧引起。

4) 根据立体视觉相机定向规则,在彩色影像上对可疑同名点进行计算与判别,利用彩色影像的色度判据、纹理判据进一步判别火灾是否存在。

5) 将火灾色谱特征判据、相对稳定性(Stationary)判据、火灾燃烧的纹理判据等一一进行判别,当这些判据全部得到满足后,即可确定存在火灾。

双波段火灾探测器特点有:

1) 采用能量检测和图像处理的方式识别火灾,能有效地探测早期火灾,实现火灾早期报警。

2) 系统具有多种火灾识别模式,有效地消除了由于干扰和外界环境因素引起的误报,可靠性高。

3) 探测距离远,保护面积大,响应速度快,探测灵敏度高。

4) 双波段火灾探测器具有可视功能,火灾报警时工作人员无须到现场确认,解决了有些地方工作人员无法达到区域的火灾确认问题,同时减轻了工作人员的劳动强度。

(5) 非接触式火灾探测,安装在防护罩内,具有防尘、防潮、防腐蚀等功能,可以在恶劣环境中使用(如灰尘、潮湿、温度、一般腐蚀性气体或防爆场所等)。

### 1.3.3 感温探测器

感温探测器是响应异常温度、温升速率和温差等参数的探测器。

感温式火灾探测器按其结构可分为电子式和机械式两种,目前前者应用广泛。按原理又分为定温、差温、差定温组合三种。按探测区域又分为点型和线型火灾探测器。

#### (1) 定温式探测器

定温式探测器是随着环境温度的升高,达到或超过预定值响应的探测器。以金属型定温探测器为例,双金属定温火灾探测器是以具有不同热膨胀系数的双金属片为敏感元件的



一种定温火灾探测器。其常见的结构如图 8.3-9 (a)、图 8.3-9 (b) 所示, 由不锈钢管、铜合金片以及调节螺栓等组成。两个铜合金片上各装有一个电接点, 其两端通过固定块分别固定在不锈钢管上和调节螺栓上。由于不锈钢管的膨胀系数大于铜合金片, 当环境温度升高时, 不锈钢外筒的伸长大于铜合金片, 因此铜合金片被拉直。在图 8.3-9 (a) 中两接点闭合发出火灾报警信号; 在图 8.3-9 (b) 中两接点打开发出火灾报警信号。图 8.3-9 (c) 所示为双金属圆盘状定温火灾探测器结构示意图。

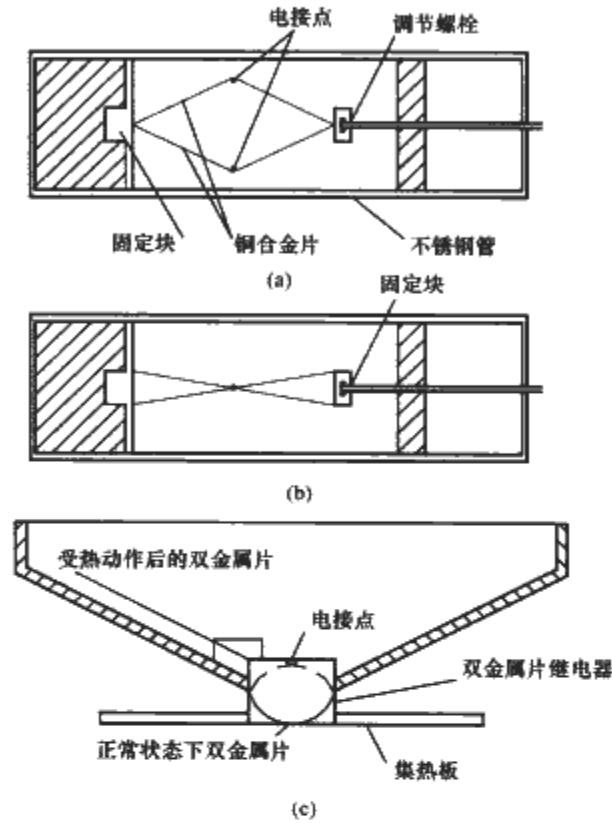


图 8.3-9 双金属定温火灾探测器

缆式线型定温探测器是采用缆式结构的线型定温探测器。以热敏电缆线型定温探测器为例说明其工作原理, 该探测器由两根弹性钢丝、热敏绝缘材料、塑料色带及塑料外护套组成感温探测器, 并主要由智能缆式线型感温探测器编码接口箱、热敏电缆及终端模块三部分构成一个报警回路。在正常时, 两根钢丝间呈绝缘状态, 在每一热敏电缆中有一极小的电流流动。当热敏电缆线路上任何一点的温度 (可以是“电缆”周围空气或它所接触物品的表面温度) 上升达额定动作温度时, 其绝缘材料熔化, 两根钢丝互相接触, 此时报警回路电流骤然增大, 报警控制器发出声、光报警的同时, 数码管显示火灾报警的回路号和火警的距离 (即热敏电缆动作部分的米数)。报警后, 经人工处理热敏电缆可重复使用。当热敏电缆或传输线任何一处断线时, 报警控制器可自动发出故障信号。缆式线型定温探测器的动作温度如表 8.3-1 所列。

表 8.3-1 缆式线型定温探测器的动作温度		
安装地点允许的温度范围 (°C)	额定动作温度 (°C)	备 注
-30~40	68±10	应用于室内、可架空及靠近安装使用
-30~55	85±10	应用于室内、可架空及靠近安装使用
-40~75	105±10	适用于室内、外
-40~100	138±10	适用于室内、外

热敏电缆托架或支架上的动力电缆上表面接触安装时, 热敏电缆的长度按下列公式计算

热敏电缆的长度=托架长×倍率系数  
式中倍率系数可按表 8.3-2 选定。

表 8.3-2 倍率系数的确定			
托架宽 (m)	倍率系数 (倍)	托架宽 (m)	倍率系数 (倍)
1.2	1.75	0.5	1.15
0.9	1.50	0.4	1.10
0.6	1.25		

热敏电缆以正弦波方式固定在动力电缆上时, 其固定卡具的数目计算方法如下:

固定卡具数目=正弦波半波个数×2+1  
(2) 差温探测器

差温探测器是当火灾发生时, 室内温度升高速率达到预定值时响应的探测器。按其工作原理又分机械式、电子式或空气管线型几种。

1) 点型差定温火灾探测器。当火灾发生时, 室内局部温度将以超过常温数倍的异常速率升高。差温火灾探测器就是利用对这种异常速率产生感应而研制的一种火灾探测器。

当环境温度以不大于 1°C/min 的温升速率缓慢上升或时, 差温火灾探测器将不发出火灾报警信号, 较为适用于产生火灾时温度快速变化的场所。点型差温火灾探测器主要有膜盒差温、双金属片差温、热敏电阻差温火灾探测器等几种类型。常见的是膜盒装置火灾探测器, 它由感温外壳、波纹片、漏气孔及电接点等几部分构成, 其结构如图 8.3-10 所示。

这种探测器具有灵敏度高、可靠性好、不受气候变化影响的特点, 因而应用非常广泛。

2) 空气管线型差温探测器。它是一种感受温升速度的火灾探测器, 由敏感元件空气管为 φ3mm×0.5mm 紫铜管 (安装于要保护的场所)、传感元件膜盒和电路部分 (安装在保护现场或装在保护现场之外) 组成, 如图 8.3-11 所示。

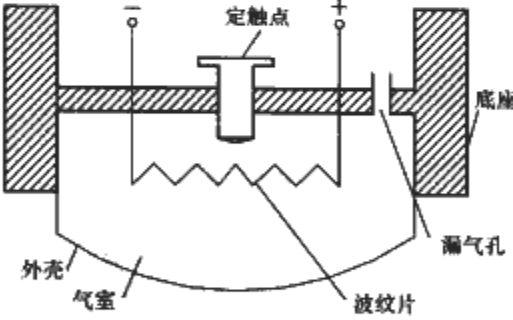


图 8.3-10 点型差定温火灾探测器

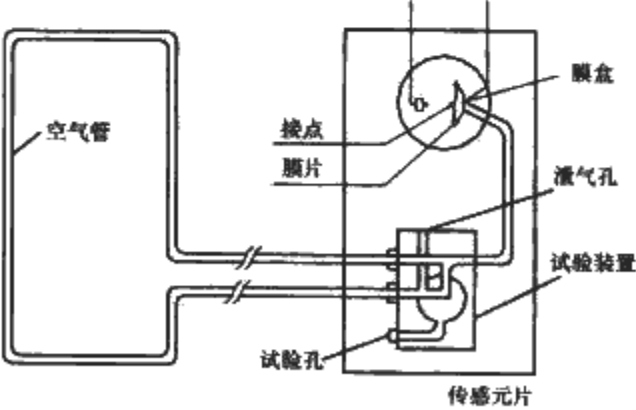


图 8.3-11 空气管线型差温探测器  
在正常情况时, 当气温缓慢上升, 受热膨胀的气体能从

传感元件泄气孔排出，不推动膜盒片，动、静结点不闭合；当发生火灾时，灾区温度快速升高，使空气管感受到温度变化，管内的空气受热膨胀，泄气孔无法立即排出，膜盒内压力增加推动用膜片，使之产生位移，动、静接点闭合，接通电路，输出报警信号。

空气管式线型差温探测器的灵敏度为三级，见表 8.3-3 所列。由于灵敏度不同，其使用场所也不同，见表 8.3-4 所列不同程度空气管式线型差温探测的适用场合。

表 8.3-3 空气管式线型差温探测器灵敏度

种类	动作温升速率 (℃/min)	不动作温升速率
1	7.5	1℃/min 持续上升 10min
2	15	2℃/min 持续上升 10min
3	30	3℃/min 持续上升 10min

注 以第 2 种规格为例，当空气管总长度的 1/3 感受到以 15℃/min 速率上升的温度时，1min 之内会给出报警信号。而空气管总长度的 2/3 感受到以 2℃/m 速率上升的温度时，10min 之内不应发出报警信号。

表 8.3-4 3 种不同灵敏度空气管式线型差温探测器的使用场合

种类	最大空气管长度 (m)	使用场合
1	<80	书库、仓库、电缆隧道、地沟等温度变化率较小的场所
2	<80	暖房设备等温度变化较大的场所
3	<80	消防设备中要与消防泵自动灭火装置联动的场所

(3) 差定温组合式探测器

这种探测器是将温差式、定温式两种感温探测元件组合在一起，同时兼有两种功能，既能探测温度上升缓慢的火灾，又能探测温升变化迅速的火灾。此外，其中某一种功能失效，另一种功能仍能起作用，因而大大提高了可靠性，分为机械式和电子式两种。

机械式差定温探测器的温差探测部分与膜盒形基本相同，而定温探测部分与易熔金属定温探测器相同。其工作原理是：差温部分，当发生火情时，环境温升速率达到某一数值，波纹片在受热膨胀的气体作用下，压迫固定在波纹片上的弹性接触片向上移动与固定触头接触，发出报警。定温部分，当环境温度达到一定值时，易熔金属熔化，弹簧片弹回，也迫使弹性接触片和固定触点接触，发出报警信号。

电子式差定温探测器由感温电阻将现场的温度信号传至探测器内部的单片机，再由单片机根据其内部的火灾特征曲线判断现场是否着火，并将结果通过总线传到火灾报警主机上。

电子差定温探测器是一种常用的点型感温火灾探测器，缆式线型定温探测器是一种常用的线型定温探测器，分布式光纤测温探测器是一种性能优良线型火灾探测器。

(4) 感温探测器灵敏度

感温探测器分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级灵敏度。定温、差定温探测器灵敏度级别标志如下：

- 1) Ⅰ级灵敏度 (62℃)：绿色。
- 2) Ⅱ级灵敏度 (70℃)：黄色。
- 3) Ⅲ级灵敏度 (78℃)：红色。

1.3.4 复合火灾探测器

复合火灾探测器是一种可以响应两种或两种以上火灾参

数的探测器，是两种或两种以上火灾探测器性能的优化组合，集成在每个探测器内的微处理机芯片，对相互关联的每个探测器的测值进行计算，从而降低了误报率。通常有感烟感温型、感温感光型、感烟感光型、红外光束感烟感光型、感烟感温感光型复合探测器。其中以烟温复合探测器使用最为频繁，其工作原理为无论是温度信号还是烟气信号，只要有一种火灾信号达到相应的阈值时探测器即可报警。其接线方式同光电感烟探测器。

1.3.5 火灾探测器的智能化

各类火灾探测器为了防止误报，预设了一些针对常规及个别区域和用途的火情判定计算规则，探测器本身自带微处理器，可以处理由环境变化所收到的信息，并针对这些信息进行计算处理，统计评估，称为智能型火灾探测器。智能型火灾探测器能结合火势很弱——弱——适中——强——很强的不同程度，再根据预设的有关规则，把这些不同程度的信息转化为适当的报警动作指标。

智能型火灾探测器能自动检测和跟踪由灰尘积累而引起的工作状态的漂移，当这种漂移超出给定范围时，自动发出故障信号和清洗信号，同时这种探测器跟踪环境变化，自动调节探测器的工作参数，因此可大大降低由灰尘积累和环境变化所造成的误报和漏报。该类火灾探测器一般还具备自动存储最近时期的火警记录的功能。

随着火灾探测技术的深入研究，目前还研究发展出针对大空间早期火灾的光声火灾气体探测装置、空气采样激光图像感烟探测器、基于计算机视觉技术的火灾空间定位技术，以及无线探测器、燃烧音探测器、微波探测器等。

光声学是光谱学与量热学、声学的结合。光声气体检测的原理是：当入射光经过调制，且入射光强度的调制频率小于一定的速率，那么当脉冲入射光照射封闭腔室的气体后，气体吸收使气体温度产生变化，从而产生气体温度的相干调制。根据气体状态定律，封闭气体的温度调制会产生周期性压力起伏，即产生声信号。这种微弱声信号可以被高灵敏度的传声器所检测，声信号强度与气体对入射光吸收强度相关，而气体吸收强度又与气体浓度相关，因此，可根据声信号强度间接检测到气体浓度大小，并依此探测原理，用于火灾探测。

空气采样激光图像感烟探测器采用激光光源，利用 CCD 成像系统，将火灾烟雾感知的信号从简单的一维强度量，发展为“面”对“面”的多维强度量，从而丰富了烟雾颗粒散射信息。它由吸气泵、测量室（暗室）、处理模块、显示模块、编程设置模块等组成。吸气泵通过 PVC 管或钢管所组成的采样管网连接采集被保护区域内空气样品，并送入测量室；空气样品在光源照射下，在 CCD 图像接收器上形成散射图像，处理模块根据火灾烟雾的散射图像特征进行处理和判断，将采集计算的烟雾粒子浓度值与预设的浓度值（报警阈值）进行比较分析，确认后产生一个不同等级的输出报警信号。探测报警器可以根据被保护现场的实际情况调整报警阈值。空气采样激光图像感烟探测器可接入常规火灾自动报警系统或联动其他设备。

1.4 火灾探测器的选择

1.4.1 一般规定

- 火灾探测器的选择，应符合下列要求：
- 1) 对火灾初期有阴燃阶段，产生大量的烟和少量的热，很少或没有火焰辐射的场所，应选择感烟探测器。
  - 2) 对火灾发展迅速，可产生大量热、烟和火焰辐射的

场所,可选择感温探测器、感烟探测器、火焰探测器或其组合。

3) 对火灾发展迅速,有强烈的火焰辐射和少量的烟、热的场所,应选择火焰探测器。

4) 对火灾初期可能产生一氧化碳气体且需要早期探测的场所,宜选择一氧化碳火灾探测器。

5) 对使用、生产或聚集可燃气体或可燃液体蒸气的场所,应选择可燃气体探测器。

6) 对火灾形成特征不可预料的场所,可根据模拟试验的结果选择探测器。

7) 对设有联动装置、自动灭火系统以及用单一探测器不能有效确认火灾的场合,宜采用同类型或不同类型的探测器组合。

8) 对于需要早期发现火灾的特殊场所,可以选择高灵敏度的吸气式感烟火灾探测器,且应将该探测器的灵敏度设置为高灵敏度状态;也可根据现场实际分析早期可探测的火灾参数而选择相应的探测器。

#### 1.4.2 点型火灾探测器的选择

1) 对不同高度的房间,可按表 8.3-5 选择点型火灾探测器。

表 8.3-5 对不同高度的房间点型火灾探测器的选择

房间高度 $h$ (m)	感烟探测器	感温探测器			火焰探测器
		一级	二级	三级	
$12 < h \leq 20$	不适合	不适合	不适合	不适合	适合
$8 < h \leq 12$	适合	不适合	不适合	不适合	适合
$6 < h \leq 8$	适合	适合	不适合	不适合	适合
$4 < h \leq 6$	适合	适合	适合	不适合	适合
$h \leq 4$	适合	适合	适合	适合	适合

2) 下列场所宜选择点型感烟探测器:

①饭店、旅馆、教学楼、办公楼的厅堂、卧室、办公室等。

②计算机房、通信机房、电影或电视放映室等。

③楼梯、走道、电梯机房等。

④书库、档案库等。

④有电气火灾危险的场所。

3) 符合下列条件之一的场所,不宜选择离子感烟探测器:

①相对湿度经常大于 95%。

②气流速度大于 5m/s。

③有大量粉尘、水雾滞留。

④可能产生腐蚀性气体。

⑤在正常情况下有烟滞留。

⑥产生醇类、醚类、酮类等有机物质。

4) 符合下列条件之一的场所,不宜选择光电感烟探测器:

①有大量粉尘、水雾滞留。

②可能产生蒸气和油雾。

③在正常情况下有烟滞留。

5) 符合下列条件之一的场所,宜选择感温探测器:

①相对湿度经常大于 95%。

②无烟火灾。

③有大量粉尘。

④在正常情况下有烟和蒸气滞留。

⑤厨房、锅炉房、发电机房、烘干车间等。

⑥吸烟室等。

⑦其他不宜安装感烟探测器的厅堂和公共场所。

6) 应根据使用场所的典型应用温度和最高应用温度,选择感温探测器。

7) 可能产生阴燃火或发生火灾不及时报警将造成重大损失的场所,不宜选择感温探测器;温度在 0℃ 以下的场所,不宜选择感温探测器;温度变化较大的场所,不宜选择差温探测器。

8) 符合下列条件之一的场所,宜选择火焰探测器:

①火灾时有强烈的火焰辐射。

②液体燃烧火灾等无阴燃阶段的火灾。

③需要对火焰做出快速反应。

9) 符合下列条件之一的场所,不宜选择火焰探测器:

①可能发生无焰火灾。

②在火焰出现前有浓烟扩散。

③探测器的镜头易被污染。

④探测器的“视线”易被遮挡。

⑤探测区域内的可燃物是金属和无机物时,不宜选择红外火焰探测器。

⑥探测器易受阳光、白炽灯等光源直接或间接照射场所,不宜选择单波段红外火焰探测器。

⑦探测区域内正常情况下有高温黑体的场所,不宜选择单波段红外火焰探测器,但日光盲的红外火焰探测器除外。

⑧正常情况下有阳光、明火作业及易受 X 射线、弧光和闪电等影响,不宜选择紫外火焰探测器。

⑨探测器视线易被油雾、烟雾、水雾和冰遮挡的场所。

10) 符合下列条件之一的场所,可选择图像式火灾探测器:

①火灾初期有阴燃阶段,产生大量的烟和少量的热,很少或没有火焰辐射的场所可选择图像式感烟火灾探测器。

②火灾发展迅速,有强烈的火焰辐射和少量的烟、热的场所,可选择图像式火焰探测器。

11) 下列场所宜选择可燃气体探测器:

①使用可燃气体的场所。

②煤气站和煤气表房以及存储液化石油气罐的场所。

③其他散发可燃气体和可燃蒸气的场所。

12) 在火灾初期产生一氧化碳的下列场所可采用一氧化碳火灾探测器:

①点型感烟、感温和火焰探测器不适宜的场所。

②烟不容易对流、顶棚下方有热屏障的场所。

③在房顶上无法安装其他点型探测器的场所。

④需要多信号复合报警的场所。

13) 污物较多且必须安装感烟火灾探测器的场所,应选择间断吸气的点型吸气式感烟火灾探测器。

#### 1.4.3 线型火灾探测器的选择

1) 无遮挡的大空间或有特殊要求的房间,宜选择红外光束感烟探测器。

2) 符合下列之一的场所,不宜选择红外光束感烟探测器:

①有大量粉尘、水雾滞留。

②可能产生蒸气和油雾。

③在正常情况下有烟滞留。

④探测器固定的建筑结构由于振动等会产生较大位移的场所。

3) 下列场所或部位,宜选择线型感温火灾探测器:

- ①公路隧道、铁路隧道等。
- ②不易安装点型探测器的夹层、闷顶。
- ③其他环境恶劣不适合点型探测器安装的危险场所。
- 4) 下列场所或部位,宜选择缆式线型感温火灾探测器:
  - ①电缆隧道、电缆竖井、电缆夹层、电缆桥架。
  - ②配电装置、开关设备、变压器等。
  - ③各种传送带输送装置。

5) 下列场所或部位,宜选择空气管式或线型光纤感温火灾探测器:

- ①存在强电磁干扰的场所。
- ②除液化石油气外的石油储罐等。
- ③需要设置线型感温火灾探测器的易燃易爆场所。
- ④需要监测环境温度的电缆隧道、地下空间等场所宜设置具有实时温度监测功能的线型光纤感温火灾探测器。

6) 要求对直径小于10cm的小火焰或局部过热处进行快速响应的电缆类火灾场不宜选择线型光纤感温火灾探测器。

7) 线型定温探测器的选择,应保证其不动作温度高于设置场所的最高环境温度。

#### 1.4.4 通过管路采样的吸气式感烟火灾探测器的选择

下列场所宜采用吸气式感烟火灾探测器:

- 1) 具有高空气流量的场所。
- 2) 点型感烟、感温探测器不适宜的大空间或有特殊要求的场所。
- 3) 低温场所。
- 4) 需要进行隐蔽探测的场所。
- 5) 需要进行火灾早期探测的关键场所。
- 6) 人员不宜进入的场所。

### 1.5 火灾探测器的设置

火灾探测器的设置部位应与保护对象的等级相适应。《火灾自动报警系统设计规范》未涉及的其他火灾探测器的设置应按照厂家提供的设计手册或使用说明书进行设置,必要时可通过模拟保护对象火灾场景等方式对探测器的设置情况进行验证。

#### 1.5.1 点型火灾探测器的设置

- 1) 探测区域的每个房间至少应设置一只火灾探测器。
- 2) 感烟探测器、动作温度小于85℃的感温探测器的保护面积和保护半径,应按表8.3-6确定;动作温度大于85℃的感温探测器的保护面积和保护半径应根据生产企业设计说明书确定,但不应超过表8.3-6规定。

表 8.3-6 点型感烟探测器、点型感温探测器的保护面积和保护半径

火灾探测器的种类	地面面积 $S$ ( $m^2$ )	房间高度 $h$ (m)	一只探测器的保护面积 $A$ 和保护半径 $R$					
			屋 顶 坡 度 $\theta$					
			$\theta \leq 15^\circ$		$15^\circ < \theta \leq 30^\circ$		$\theta > 30^\circ$	
			$A$ ( $m^2$ )	$R$ (m)	$A$ ( $m^2$ )	$R$ (m)	$A$ ( $m^2$ )	$R$ (m)
感烟探测器	$S \leq 80$	$h \leq 12$	80	6.7	80	7.2	80	8.0
	$S > 80$	$6 < h \leq 12$	80	6.7	100	8.0	120	9.9
		$h \leq 6$	60	5.8	80	7.2	100	9.0
感温探测器	$S \leq 30$	$h \leq 8$	30	4.4	30	4.9	30	5.5
	$S > 30$	$h \leq 8$	20	3.6	30	4.9	40	6.3

3) 建筑高度不超过14m的封闭探测空间,且火灾初期会产生大量的烟时,可选择点型感烟火灾探测器。

4) 感烟探测器、感温探测器的安装间距,应根据探测器的保护面积  $A$  和保护半径  $R$  确定,并不应超过《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998)附录A探测器安装间距的极限曲线  $D_{11} \sim D_{11}$  (含  $D_{11}$ ) 所规定的范围。

5) 一个探测区域内所需设置的探测器数量,不应小于下式的计算值

$$N = \frac{S}{KA} \quad (8.3-1)$$

式中,  $N$  为探测器数量(只),  $N$  应取整数;  $S$  为该探测区域面积,  $m^2$ ;  $A$  为探测器的保护面积,  $m^2$ ;  $K$  为修正系数,特级保护对象宜取0.7~0.8,一级保护对象宜取0.8~0.9,二级保护对象宜取0.9~1.0。

6) 在有梁的顶棚上设置感烟探测器、感温探测器时,应符合下列规定。

①当梁突出顶棚的高度小于200mm时,可不计梁对探测器保护面积的影响。

②当梁突出顶棚的高度为200~600mm时,应按《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998)附录B、附录C确定梁对探测器保护面积的影响和一只探测器能够保护的梁间区域的个数。

③当梁突出顶棚的高度超过600mm时,被梁隔断的每个梁间区域至少应设置一只探测器。

④当被梁隔断的区域面积超过一只探测器的保护面积时,被隔断的区域应按式(8.3-1)计算探测器的设置数量。

⑤当梁间净距小于1m时,可不计梁对探测器保护面积的影响。

7) 在宽度小于3m的内走道顶棚上设置探测器时,宜居中布置。感温探测器的安装间距不应超过10m;感烟探测器的安装间距应不超过15m;探测器至端墙的距离,应不大于探测器安装间距的一半。

8) 探测器至墙壁、梁边的水平距离,应不小于0.5m。

9) 探测器周围0.5m内,不应有遮挡物。

10) 房间被书架、设备或隔断等分隔,其顶部至顶棚或梁的距离小于房间净高的5%时,每个被隔开的部分至少应安装一只探测器。

11) 探测器至空调送风口边的水平距离应不小于1.5m,并宜接近回风口安装。探测器至多孔送风顶棚孔口的水平距离应不小于0.5m。

12) 当屋顶有热屏障时,感烟探测器下表面至顶棚或屋顶的距离,应符合表8.3-7的规定。

表 8.3-7 感烟探测器下表面至顶棚或屋顶的距离

探测器的安装高度 $h$ (m)	感烟探测器下表面至顶棚或屋顶的距离 $d$ (mm)					
	顶 棚 或 屋 顶 坡 度 $\theta$					
	$\theta \leq 15^\circ$		$15^\circ < \theta \leq 30^\circ$		$\theta > 30^\circ$	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大
$h \leq 6$	30	200	200	300	300	500
$6 < h \leq 8$	70	250	250	400	400	600
$8 < h \leq 10$	100	300	300	500	500	700
$10 < h \leq 12$	150	350	350	600	600	800

13) 锯齿型屋顶和坡度大于15°的人字型屋顶,应在每个屋脊处设置一排探测器,探测器下表面至屋顶最高处的距离,应符合表8.3-7的规定。

14) 探测器宜水平安装。当倾斜安装时,倾斜角应不大于45°。

15) 在电梯井、升降机井设置探测器时,其位置宜在井道上方的机房顶棚上。

16) 一氧化碳火灾探测器可设置在任何气体可以扩散到



的部位。

### 1.5.2 火焰探测器和图像型火灾探测器的设置

火焰探测器和图像型火灾探测器的设置应符合下列规定:

- 1) 探测器的安装高度应与探测器的灵敏度等级相适应。
- 2) 探测器对保护对象进行空间保护时,应考虑探测器的探测视角及最大探测距离,避免出现探测死角。
- 3) 探测器的探测区内不应存在固定或流动的遮挡物。
- 4) 应避免光源直接照射在探测器的探测窗口。
- 5) 单波段的火焰探测器不应设置在平时有光源照射的场所。
- 6) 在探测器保护的建筑高度为超过 12m 的高大空间时,应选用 2 级以上灵敏度的火灾探测器;并应尽量降低探测器设置高度。

### 1.5.3 线型火灾探测器的设置

1) 线型光束感烟火灾探测器的设置应符合下列规定:

- ①探测器的光束轴线至顶棚的垂直距离宜为 0.3~1.0m,距地高度不宜超过 20m。
- ②相邻两组探测器的水平距离应不大于 14m,探测器至侧墙水平距离应不大于 7m,且应不小于 0.5m,探测器的发射器和接收器之间的距离不宜超过 100m。
- ③在探测器保护的建筑高度为超过 12m 的高大空间时,探测器应设置在开窗或通风空调对流层下面 1m 处,并采用多组探测器组成保护层的探测方式;在有关窗和通风空调停止工作的建筑中,可以在建筑顶部(不宜超过 25m)增设线型光束感烟火灾探测器,探测器的保护面积可按常规计算,并宜与下层探测器交错布置。
- ④探测器宜设置在混凝土结构上;在钢结构建筑中,可设置在钢架上,但应考虑位移影响,选择发射光范围大于钢结构位移的探测器。

⑤探测器的设置应保证其接收端避开日光和人工光源照射。

⑥选择反射式探测器时,应保证在反射板与探测器间任何部位进行模拟试验时,探测器均能正确响应。

2) 缆式线型感温火灾探测器的设置应符合下列规定:

- ①探测器在电缆桥架或支架上设置时,宜采用接触式布置;在各种皮带输送装置上设置时,宜设置在装置的过热点附近。
- ②设置在顶棚下方的空气管式线型差温探测器,至顶棚的距离宜为 0.1m。相邻管路之间的水平距离不宜大于 5m;管路至墙壁的距离宜为 1~1.5m。
- ③光栅光纤感温火灾探测器每个光栅的保护面积和保护半径应符合点型感温火灾探测器的保护面积和保护半径要求;保护油罐时,两个相邻光栅间距离不宜大于 3m,且一只光纤感温火灾探测器只能保护一个油罐。

④设置线型感温火灾探测器的场所有联动要求时,可采用具有多级报警功能的同一只线型感温火灾探测器的 2 级报警信号作为联动触发信号。

### 1.5.4 吸气式感烟火灾探测器的设置

通过管路采样的吸气式感烟火灾探测器的设置应符合下列规定:

- 1) 非高灵敏度型吸气式感烟火灾探测器的采样管网安装高度应不超过 16m,高灵敏度吸气式感烟火灾探测器的采样管网安装高度可以超过 16m。
- 2) 吸气式感烟火灾探测器的每个采样孔的保护面积、保护半径应符合点型感烟火灾探测器的保护面积、保护半径

的要求。

3) 一台探测器的采样管总长不宜超过 200m,单管长度不宜超过 100m。采样孔总数不宜超过 100 个,单管上的采样孔数量不宜超过 25 个。

4) 当采样管道采用毛细管布置方式时,毛细管长度不宜超过 4m。

5) 当采样管道布置形式为垂直采样时,每 2℃温差间隔或 3m 间隔(取最小者)应设置一个采样孔。

6) 灵敏度可调的高灵敏度管路吸气式感烟火灾探测器必须设置为高灵敏度。

7) 吸气管路和采样孔应有明显的火灾探测器标识。

8) 有过梁、空间支架的建筑中,采样管路应固定在过梁、空间支架上。

9) 探测器保护的建筑高度大于 16m 的场所时,探测器的采样管应采用水平布管和下垂布管结合的布管方式,采样管采用垂直安装时,每 2℃温差或间隔 3m 间隔(取最小值)应设置一个采样孔,并保证至少有两个采样孔低于 16m,并宜有 2 个采样孔设置在开窗或通风空调对流层下面 1m 处。

## 1.6 常见火灾探测器的接线

火灾探测器的接线形式变化很快,即从多线向少线至总线发展,给施工、调试和维护带来了极大的方便。我国采用的线制有四线、三线、两线制及四总线、二总线制等几种。对于不同厂家生产的不同型号的探测器其线制各异,从探测器到区域报警器的线数也有很大差别。

### 1.6.1 多线制系统

(1) 多线制系统分类

1) 四线制。即  $n+4$  线制, $n$  为探测器数,4 指公用线为电源线(+24V)、地线(G)、信号线(S)、自诊断线(T),另外每个探测器设一根选通线(ST)。仅当某选线处于有效电平时,在信号线上传送的信息才是该探测器部位的状态信号。这种方式的优点是探测器的电路比较简单,供电和取信息相当直观,但缺点是线多,配管直径大,穿线复杂,线路故障也多,故已不用。

2) 两线制。也称  $n+1$  线制,即一条公用地线,另一条则承担供电、选通信息与自检的功能,这种线制比四线制简化得多,但仍为多线制系统。

探测器采用两线制时,可完成电源供电故障检查、火灾报警、断线报警(包括接触不良,探测器被取走)等功能。

火灾探测器与区域报警器的最少接线是  $n+n/10$ ,其中  $n$  为占用部位号的线数,即探测器信号线的数量, $n/10$ (小数进位取整数)为正电源线数(采用红线导线),也就是每 10 个部位合用一根正电源线。

另外也可以用另一种算法,即  $n+1$ ,其中  $n$  为探测器数目,如探测器数  $n$  为 50 时,则总线为 51 根。

前一种计算方法是  $(50+50/10)$  根=55 根,这是已进行了巡检分组的根数,与后一根分组后是一致的。

(2) 多线制系统在施工中应注意的内容

为保证区域控制器的自检功能,布线时每根连接底座  $L_1$  的正电源红色导线不能超过十个部位数的底座(并联底座时作为一个看待)。

每台区域报警器允许引出的正电源线数为  $n/10$ (小数进位取整数), $n$  为区域控制器的部位数。当管道较多时,要特别注意这一情况,以便 10 个部位分成一组,有时某些管道要多放一根电源正线,以利分组。

探测器底座安装好并确定接线无误后,将终端器接上,

然后用小塑料袋罩紧，防止损坏和污染，待装上探测器时才除去塑料罩。

终端器为一个半导体硅二极管（2CK 或 2CZ 型）和一个电阻并联，安装时注意二极管负极接 +24V 端子或底座 L<sub>2</sub> 端，其终端电阻值大小不一，一般取 5~36kΩ 之间。凡是没有接探测器的区域控制器的空位，应在其相应接线端子上接上终端器，如设计时有特殊要求可与厂家联系解决。

(3) 多线制系统的连接方式

1) 探测器的并联。同一部位上，为增大保护面积，可以将探测器并联使用，这些并联在一起的探测器仅占用一个部位号，不同部位的探测器不宜并联使用。

如此较大的会议室，使用一个探测器保护面积不够，假如使用 3 个探测器并联才能满足时，则这 3 个探测器中的任何一个发出火灾信号时，区域报警器的相应部位信号灯燃亮，但无法知道哪一个探测器报警，需要现场确认。

某些同一部位但情况特殊时，探测器不应并联使用。如大仓库，由于货物堆放较高，当探测器发生火灾信号后，到现场确认困难。所以从使用方便、准确角度看，应尽量不使用并联探测器为好。不同的报警控制器所允许探测器并联的只数也不一样。

探测器并联时，其底座配线是串联式配线连接，这样可以保证取走任何一只探测器时，火灾报警控制器均能报出故障。

探测器并联时，其底座应依次接线，不应有分支线路，这样才能保证终端器在最后一只底座的 L<sub>2</sub>-L<sub>5</sub> 两端，以保证火灾报警控制器的自检功能。

2) 探测器的混联。在实际工程仅用并联和仅单个连接的情况很少，大多是混联。

1.6.2 总线制系统

采用地址编码技术，整个系统只用几根总线，建筑物内布线极其简单，给设计、施工及维护带来了极大的方便，因此被广泛采用。

(1) 四总线制

四条总线为：P 线给出探测器的电源、编码、选址信号；T 线给出自检信号以判断探测部位传输线是否有故障；控制器从 S 线上获得探测部位的信息；G 为公共地线。P、T、S、G 均为并联方式连接，S 线上的信号对探测部位而言是分时的，如图 8.3-12 所示。

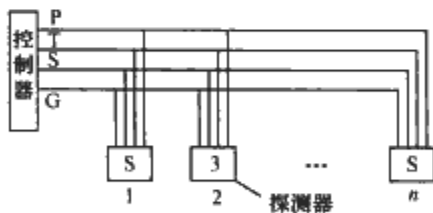


图 8.3-12 四总线制连接方式

由图 8.3-12 可见，从探测器到区域报警器只用四根全总线。

(2) 二总线制

二总线制是一种最简单的接线方法，用线量更少，但技术的复杂性和难度也提高了。二总线中的 G 线为公共地线，P 线则完成供电、选址、自检、获取信息等功能。目前，二总线制应用最多，新型智能火灾报警系统也建立在二总线的运行机制上。二总线系统有树枝形和环形、链接式及混合型几种方式，同时又有有极性和无极性之分，相比之下无极性二总线技术最先进。

树枝型接线。如图 8.3-13 所示为树枝接线方式，这种

方式应用广泛，这种接线如果发生断线，可以报出断线故障点，但断点之后的探测器不能工作。

环形接线。如图 8.3-14 所示为环形接线方式。这种系统要求输出的两根总线再返回控制器另两个输出端子，构成环形。这种接线方式如中间发生断线不影响系统正常工作。

链式接线。如图 8.3-15 所示，这种系统的 P 线对各探测器是串联的，对探测器而言，变成了三根线，而对控制器还是两根线。在实际工程设计中，应根据情况选用适当的线制。

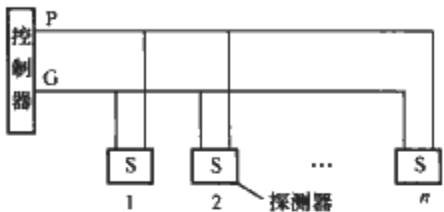


图 8.3-13 树枝形接线（二总线制）

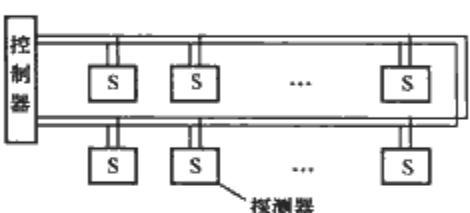


图 8.3-14 环形接线（二总线制）

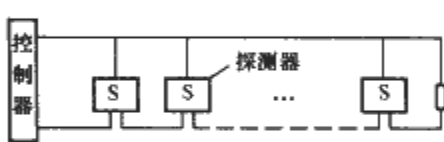


图 8.3-15 链式连接方式

2 手动报警按钮

手动报警按钮有带编码地址的和不带编码地址的两种，带编码手动报警按钮可直接接入火灾报警控制器总线，占一个地址编码。

2.1 编码手动报警按钮

编码手动报警按钮分成两种，一种为不带电话插孔，另一种为带电话插孔，其编码方式有微动开关编码（二、三进制）和电子编码器编码（十进制）。

当人工确认为火灾发生时，按下按钮上的有机玻璃片，可向控制器发出火灾报警信号，控制器接收到报警信号后，显示出报警按钮的编号或位置，并发出报警音响。手动报警按钮和前面介绍的各种编码探测器一样，可直接接到控制器总线上。

表 8.3-8 手动报警按钮编码开关编址方式示例

n 次幂数	0	1	2	3	4	5	6
拨码 ON=1 ↕ 状态 OFF=0							
2 <sup>n</sup> 值	1	2	4	8	16	32	64
真值表	0	0	0	1	1	1	0
二—十加权运算	0×2 <sup>0</sup> +0×2 <sup>1</sup> +0×2 <sup>2</sup> +1×2 <sup>3</sup> +1×2 <sup>4</sup> +1×2 <sup>5</sup> +0×2 <sup>6</sup>						
十进制地址码	0×1+0×2+0×4+1×8+1×16+1×32+0×64=56						



## 2.2 消火栓报警按钮

消火栓报警按钮作为火灾时启动消火栓泵的设备在消防水系统控制中起重要作用。过去大部分采用小锤来敲击按钮,现在一般为有机玻璃片,使用时按下或击碎玻璃。

目前消火栓按钮有总线型和多线型两种。智能型消火栓按钮为编码型,可直接接入控制器总线,占一个地址编码。按钮带有一对常开输出控制触点,可用来做直接启泵开关。按钮表面装有一有机玻璃片,当启用消火栓时,可直接按下玻璃片,此时按钮的红色指示灯亮,表明已向消防控制室外发出了报警信息,控制器在确认了消防水泵已启动运行后,就向消火栓报警按钮发出命令信号点亮泵运行指示灯。消火栓报警按钮上的泵运行指示灯,既可由控制器点亮,也可由泵控制箱引来的指示泵运行状态的开关信号点亮。

布线要求:信号总线 Z1、Z2 采用 RVS 型双绞线,截面积大于或等于  $1.0\text{mm}^2$ ;控制线 K1、K2 及回答线 V+、SN 采用 BV 线,截面积大于或等于  $1.5\text{mm}^2$ 。

## 2.3 手动报警按钮的安装要求

手动报警按钮设置在公共场所,如走廊、楼梯口及人员密集的场所。每个防火分区应至少设置一只手动火灾报警按钮。从一个防火分区内任何位置到取邻近的一只手动火灾报警按钮的距离应不大于 30m。手动报警按钮宜设置在公共活动场所的出入口处。设置在明显的和便于操作的部位。当手动报警按钮安装在墙上时,其底边距地高度宜为 1.3~1.5m,且应有明显标志。安装时应牢固,不应倾斜,外接导线应留不小于 10cm 的余量。

## 3 模块装置

模块装置有隔离模块、输入模块、输出模块等各种不同形式,下面分别阐述。

### 3.1 隔离模块

隔离模块用在传输总线上,对各分支线路作短路时的隔离作用。它能自动使短路部分两端呈高阻或开路状态,使得总线上其他部件和控制器正常工作。当短路故障排除后,又能自动恢复该部分回路的正常工作。

隔离模块直接与信号二总线连接,无需其他布线。通常选用截面积大于或等于  $1.0\text{mm}^2$  的 RVS 双绞线。

### 3.2 输入模块(亦称监视模块)

输入模块的作用是接收现场装置的报警信号,实现信号向火灾报警控制器的传输。它适用于无地址编码的消火栓按钮、水流指示器、压力开关、 $70^\circ\text{C}$  或  $280^\circ\text{C}$  防火阀等。输入模块可采用电子编码器完成地址编码设置。

输入模块的信号总线采用 RVS 型双绞线,通常选用截面积大于或等于  $1.0\text{mm}^2$ ;与设备的无源触点(一般为常开)连接的端子常采用 RV 软线,截面积大于或等于  $1.0\text{mm}^2$ 。

### 3.3 输出模块(亦称控制模块)

输出模块采用电子编码器进行十进制电子编码,模块具有直流 24V 电压输出,用于与继电器触点接成有源输出,满足现场的不同需求,实现现场各种设备(如:排烟口、送风口、防火阀等)的一次动作。

输出模块有源输出的一般容量为 DC24V、1A。模块的信号总线采用 RVS 型双绞线,选用截面积大于或等于

$1.0\text{mm}^2$ ;电源线采用 BV 线,截面积大于或等于  $1.5\text{mm}^2$ ;向输出触点提供 +24V 的信号线采用 RV 线,截面积大于或等于  $1.0\text{mm}^2$ 。

### 3.4 智能型编码输入/输出模块

此模块有单输入/输出模块、双输入/双输出模块等几类。单输入/输出模块用于将现场各种一次动作并有动作信号输出的被动型设备(如:排烟口、送风口、防火阀等)接入到控制总线上。双输入/双输出模块可用于完成对二步降防火卷帘门、水泵、排烟风机等双动作设备的控制。

单输入/输出模块采用电子编码器进行十进制电子编码,模块内有一对常开、常闭触点,一般容量为 DC24V、5A。模块具有直流 24V 电压输出,用于与继电器触点接成有源输出,满足现场的不同需求。另外模块还设有开关信号输入端,用来和现场设备的开关触点连接,以便对现场设备是否动作进行确认。应当注意的是,不应将模块触点直接接入交流控制回路,以防强交流干扰信号损坏模块或控制设备。

双输入/输出模块具有两个编码地址,可接收来自控制器的二次不同动作的命令,具有控制二次不同输出和确认两个不同回答信号的功能。此模块所需输入信号为常开开关信号,一旦开关信号动作,模块将此开关信号通过联动总线送入控制器,联动控制器产生报警并显示出动作的地址号,当模块本身出现故障时,控制器也将产生报警并将模块编号显示出来。本模块具有两对常开、常闭触点,一般容量为 DC 24V、5A,有源输出时可输出 DC 24V、1A。

智能型编码输入/输出模块的信号总线采用 RVS 型双绞线,选用截面积大于或等于  $1.0\text{mm}^2$ ;电源线采用 BV 线,截面积大于或等于  $1.5\text{mm}^2$ ;向输出触点提供 +24V 的信号线、与被控设备无源常开触点连接的端子线及模块的常开常闭输出端子线采用 RV 线,截面积大于或等于  $1.0\text{mm}^2$ 。

## 4 消防专用电话

消防专用电话网络应为独立的消防通信系统。为保证消防报警和灭火指挥的畅通,规范对消防专用电话作了明确的规定。

### 4.1 消防通信系统的设置要求

1) 消防控制室应设置消防专用电话总机,宜选择共电式电话总机或对讲通信电话设备。

2) 电话分机或电话塞孔的设置应符合下列要求:

①下列部位应设置消防专用电话分机:消防水泵房、备用发电机房、配变电室、计算机机房、主要通风机房、空调机房、排烟机房、消防电梯机房及其他与消防联动控制有关的且经常有人值班的机房;灭火系统操作装置处或控制室;企业消防站、消防值班室、总调度室。

②设有手动火灾报警按钮或消火栓按钮等处宜设置电话塞孔。电话塞孔在墙上安装时,其底边距地面高度宜为 1.3~1.5m。

③特级保护对象的各避难层应每隔 20m 步行距离设置消防专用电话分机中塞孔。

④消防控制室、消防值班室或企业消防站等处应设置可直接报警的外线电话。

### 4.2 多线制消防电话主机

在多线制消防电话系统中,每一部固定式消防电话分机占用消防电话主机的一路,采用独立的两根线与消防电话主

机连接消防电话插孔,可并联使用,并联的数量不限;并联的电话插孔仅占用消防电话主机的一路。

多线制消防电话系统中主机与分机、分机与分机间的呼叫、通话等均由主机自身控制完成。电话总机常有8门、16门、24门、32门、40门等几种,可外接1路市话外线(按外线119键时自动拨打119)。

#### 4.3 总线制消防电话主机

总线制消防电话总机是一种新型的火警通信设备,通过两总线、24V电源线与电话模块、电话插孔、电话分机一起构成火灾报警通信系统。有的总线制火警电话总机可容纳80个分机地址编码。当总线电缆采用 $1\text{mm}^2$ 的双绞线时,总机与分机的通信距离大于3km;可与广播设备配合使用,可将主机与分机通话内容进行现场广播。

#### 4.4 消防电话塞孔

消防电话塞孔为拔插式结构,由安装底座和模块主体两部分组成,插入模块主体之前在底座上就能接线;当为非编码部件时,与输入模块连接构成编码式电话插孔;也可直接与消防电话主机的电话二总线连接,构成非编码电话插孔,并接数量不限。目前常用产品中,编码式手动报警按钮可附配消防电话塞孔。

#### 4.5 消防电话分机

固定式消防电话分机有被叫振铃和摘机通话的功能,它与多线制消防电话主机配合使用。

多提式消防电话分机是插入插孔即可呼叫主机,它用于携带。

### 5 灯光显示装置

当用一台区域火灾报警控制器或一台火灾报警控制器警戒多个楼层时,应在每个楼层的楼梯口或消防电梯前室等明显部位,设置识别着火楼层的灯光显示装置。它的作用就是当现场发生火灾并被确认后,安装在现场的灯光显示装置可由消防控制中心的火灾报警控制器启动,发出强烈的灯光信号,以达到提醒人员注意的目的。声光讯响器就是一个最常用的灯光显示装置,它一般分为非编码型与编码型两种。编码型可直接接入报警控制器的信号二总线(需由电源系统提供二根DC24V电源线),非编码型可直接由有源24V常开触点进行控制,例如用控制模块的输出触点控制等。

灯光显示装置的信号总线可采用RVS型双绞线,截面积大于或等于 $1.0\text{mm}^2$ ;电源线采用BV线,截面积大于或等于 $1.5\text{mm}^2$ ;外控引接端子采用RV线,截面积大于或等于 $0.5\text{mm}^2$ 。

### 6 区域显示器(火灾显示器)

当一个系统中不安装区域报警控制器时,应在各报警区域安装区域显示器,其作用是显示来自消防中心报警器的火警信息,适用于各防火监视分区或楼层。

目前,区域显示器一般为用单片机设计开发的汉字式火灾显示盘,用来显示火警探测器部位编号及其汉字信息并同时发出声光报警信号,显示内容清晰直观,便于人员确认。它通过总线与火灾报警控制器相连,处理并显示控制器传送过来的数据。当用一台报警器同时监控数个楼层或防火分区时,可在每个楼层或防火分区设置火灾显示盘以取代区域报警控制器。

与火灾报警控制器间采用有极性二总线连接,另需两根DC24V电源供电线(不分极性);DC24V电源线采用BV线,截面积大于或等于 $2.5\text{mm}^2$ ;二总线采用RVVP屏蔽线,截面积大于或等于 $1.0\text{mm}^2$ 。

### 7 布线

火灾自动报警的布线直接影响到系统的可靠性,一般在消防工程设计中按以下情况考虑。

1) 火灾自动报警系统的传输线路和50V以下供电的控制线路,应采用电压等级不低于交流300/500V的铜芯绝缘导线或铜芯电缆。采用交流220/380V的供电和控制线路应采用电压等级不低于交流450/750V的铜芯绝缘导线或铜芯电缆。

2) 火灾自动报警系统传输线路的线芯截面选择,除应满足自动报警装置技术条件的要求外,还应满足机械强度的要求。铜芯绝缘导线、铜芯电缆线芯的最小截面面积不应小于表8.3-9的规定。

表 8.3-9 铜芯绝缘导线、铜芯电缆  
线芯最小截面面积

序 号	类 别	线芯的最小截面面积 ( $\text{mm}^2$ )
1	穿管敷设的绝缘导线	1.00
2	线槽内敷设的绝缘导线	0.75
3	多芯导线	0.50

3) 火灾自动报警系统的传输线路应采用穿金属管、难燃型刚性塑料管或封闭式线槽保护方式布线。

4) 火灾自动报警系统的电源线、消防联动控制线应采用耐火类铜芯绝缘导线或铜芯电缆,通信、警报和应急广播线宜采用耐火类铜芯绝缘导线或铜芯电缆,当线路采用暗敷设时,宜采用金属管或难燃型刚性塑料管保护,并应敷设在非燃烧体的结构层内,且保护层厚度不宜小于30mm。当采用明敷设时,应采用金属管或金属线槽保护,并应在金属管或金属线槽上采取防火保护措施。

5) 在线槽内成束敷设的导线或电缆,应采用绝缘和护套经阻燃处理的导线或电缆,当采用经阻燃处理的电缆时,可不穿金属管保护,但应敷设在电缆竖井或吊顶内有防火保护措施的封闭式线槽内。

6) 火灾自动报警系统用的电缆竖井,宜与电力、照明用的低压配电线路电缆竖井分别设置。如果受条件限制必须合用时,两类电缆应分别布置在竖井的两侧。

7) 不同电压等级的线缆不应穿入同一根保护管内,当合用同一线槽时,线槽内应有隔板分隔。

8) 水平敷设的火灾自动报警系统的传输线路当采用穿管布线时,不同防火分区的线路不应穿入同一根管内,但探测器报警线路采用总线制布设时不受此限。

9) 从接线盒、线槽等处引到探测器底座盒、控制设备盒、扬声器箱的线路均应加金属保护管保护。

10) 火灾探测器的传输线路,宜选择不同颜色的绝缘导线或电缆。正极“+”线应为红色,负极“-”线应为蓝色。同一工程中相同用途导线的颜色应一致,接线端子应有标号。

11) 接线端子箱内的端子宜选择压接或带锡焊接点的端子板,其接线端子上应有相应的标记。

12) 火灾自动报警系统的传输网络不应与其他系统的传输网络合用。

## 第4章 消防报警系统分类及设计

### 1 火灾自动报警系统

#### 1.1 火灾自动报警系统基本组成

火灾自动报警系统是由触发器件、火灾报警装置、火灾警报装置,以及具有其他辅助功能的装置组成的火灾报警系统。

##### 1.1.1 触发器件

在火灾自动报警系统中,自动或手动产生火灾报警信号的器件称为触发器件,它主要包括火灾探测器和手动火灾报警按钮。

不同类型的火灾探测器适用于不同类型的火灾和不同的场所,在实际应用中,应当按照现行有关国家标准的规定合理选择。火灾探测器是火灾自动报警系统中应用量最大、应用面最广、最基本的触发器件。

手动火灾报警按钮是用手动方式产生火灾报警信号、启动火灾自动报警系统的器件,也是火灾自动报警系统中不可缺少的组成部分之一。《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998)规定,设计火灾自动报警系统时,自动和手动两套触发装置应同时设置。

##### 1.1.2 火灾报警装置

在火灾自动报警系统中,用以接收、显示和传递火灾报警信号,并能发出控制信号和具有其他辅助功能的控制指示设备称为火灾报警装置。火灾报警控制器就是其中最基本的一种。火灾报警控制器具备为火灾探测器供电,接收、显示和传输火灾报警信号,并能对自动消防设备发出控制信号的完整功能,是火灾自动报警系统中的核心组成部分。

火灾报警控制器按其用途不同,可分为区域火灾报警控制器、集中火灾报警控制器和通用火灾报警控制器三种基本类型。区域火灾报警控制器用于火灾探测器的监测、巡检、供电与备电,接收火灾监测区域内火灾探测器的输出参数或火灾报警、故障信号,并且转换为声、光报警输出,显示火灾部位或故障位置等,其主要功能有火灾信息采集与信号处理,火灾模式识别与判断,声、光报警,故障监测与报警,火灾探测器模拟检查,火灾报警计时,备电切换和联动控制等。

集中火灾报警控制器用于接收区域火灾报警控制器的火灾报警信号或设备故障信号,显示火灾或故障部位,记录火灾信息和故障信息,协调消防设备的联动控制和构成终端显示等,其主要功能包括火灾报警显示、故障显示、联动控制显示、火灾报警计时、联动连锁控制实现、信息处理与传输等。

通用火灾报警控制器兼有区域和集中火灾报警控制器的功能,小容量的可以作为区域火灾报警控制器使用,大容量的可以独立构成中心处理系统,其形式多样,功能完备,可以按照其特点用作各种类型火灾自动报警系统的中心控制器,完成火灾探测、故障判断、火灾报警、设备联动、灭火控制及信息通信传输等功能。

近年来,随着火灾探测报警技术的发展和模拟量、总线

制、智能化火灾探测报警系统的逐渐应用,在许多场合,火灾报警控制器已不再分为区域、集中和通用三种类型,而统称为火灾报警控制器。

在火灾报警装置中,还有一些如中继器、区域显示器、火灾显示盘等功能不完整的报警装置,它们可视为火灾报警控制器的演变或补充,在特定条件下应用,与火灾报警控制器同属火灾报警装置。

##### 1.1.3 火灾警报装置

在火灾自动报警系统中,用以发出区别于环境声、光的火灾警报信号的装置称为火灾警报装置。火灾警报器就是一种最基本的火灾警报装置,它以声、光音响方式向报警区域发出火灾警报信号,以警示人们采取安全疏散、灭火救灾措施。

设置火灾自动报警系统的场所,应设置火灾警报装置。在设置火灾应急广播的建筑物内,应同时设置火灾警报装置,并应采用分时播放控制:先鸣警报8~16s;间隔2~3s后播放应急广播20~40s;再间隔2~3s依次循环进行直至疏散结束。根据需要,可在疏散期间手动停止。

每个防火分区至少应设一个火灾警报装置。其位置宜设在各楼层走道靠近楼梯出口处。警报装置宜采用手动或自动控制方式。

在环境噪声大于60dB的场所设置火灾警报装置时,其声警报器的声压级应高于背景噪声15dB。

##### 1.1.4 消防控制设备

在火灾自动报警系统中,当接收到来自触发器件的火灾报警信号,能自动或手动启动相关消防设备并显示其状态的设备,称为消防控制设备。主要包括火灾报警控制器,自动灭火系统的控制装置,室内消火栓系统的控制装置,防烟、排烟系统及空调通风系统的控制装置,常开防火门、防火卷帘的控制装置,电梯回降的控制装置,火灾应急广播的控制装置,火灾警报装置的控制装置,以及火灾应急照明与疏散指示标志的控制装置等控制装置中的部分或全部。消防控制设备一般设置在消防控制中心,以便于实行集中统一控制。也有的消防控制设备设置在被控消防设备所在现场,但其动作信号则必须返回消防控制室,实行集中与分散相结合的控制方式。

### 1.2 火灾自动报警系统形式及设计要求

#### 1.2.1 火灾自动报警系统结构形式

火灾探测器是对火灾现象进行有效探测的基础与核心,火灾探测器的选用及其与火灾报警控制器的有机配合,是火灾自动报警系统设计的关键。火灾报警控制器是火灾信息数据处理、火灾识别、报警判断和设备控制的核心。最终通过消防联动控制设备实施对消防设备及系统的联动控制和灭火操作。因此,根据火灾报警控制器功能与结构,以及系统设计构思的不同,火灾自动报警系统呈现出不同的技术产品形式。

##### (1) 多线制系统结构

多线制系统结构形式与早期的火灾探测器设计、火灾探测器与火灾报警控制器的连接等有关。一般要求每个火灾探

测器采用两条或更多条导线与火灾报警控制器相连接,以确保从每个火灾探测点发出火灾报警信号,如图 8.4-1 所示。简言之,多线制结构的火灾自动报警系统采用简单的模拟或数字电路构成火灾探测器并通过电平翻转输出火警信号,火灾报警控制器依靠直流信号巡检和向火灾探测器供电,火灾探测器与火灾报警控制器采用硬线——对应连接关系,有一个火灾探测点便需要一组硬线与之对应,其接线方式即线制可表示为  $an+b$  (其中,  $n$  是火灾探测器个数或火灾探测的地址编码个数;系数  $a$  和  $b$ ,一般取  $a=1, b=1, 2, 4$ ), 如  $2n+1, n+1$  等线制。多线制系统结构中的最少线制是  $n+1$ , 其设计、施工与维护复杂,已逐步被淘汰。

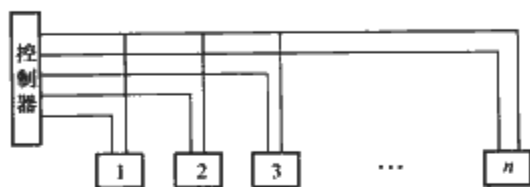


图 8.4-1 多线制火灾自动报警系统结构原理图

## (2) 总线制系统结构

总线制系统结构形式如图 8.4-2 所示,它是在多线制基础上发展起来的。随着微电子器件、数字脉冲电路及计算机应用技术用于火灾自动报警系统,它改变了以往多线制结构系统的直流巡检和硬线对应连接方式,代之以数字脉冲信号巡检和信息压缩传输,采用大量编码、译码电路和微处理机实现火灾探测器与火灾报警控制器的协议通信和系统监测控制,大大减少了系统线制,带来了工程布线灵活性,并形成了支状和环状两种工程布线方式。总线制系统结构的线制也可以表示为  $an+b$  (其中,  $a=0; b=2, 3, 4; n$  为火灾探测地址编码个数)。总线制系统结构目前应用广泛,多采用二总线、三总线、四总线制,可模块联动消防设备,也可硬线联动消防设备,系统抗干扰能力强,误报率低,系统总功耗较低。

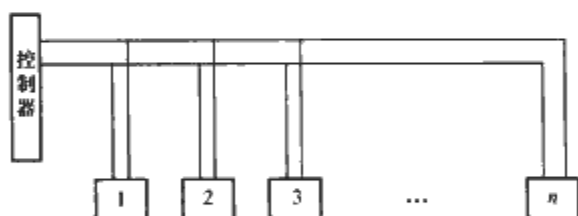


图 8.4-2 总线制火灾自动报警系统结构原理图

## (3) 集中智能型系统结构

集中智能型系统一般采用图 8.4-2 所示二总线制结构并选用通用火灾报警控制器,其特点是:火灾探测器实际是火灾传感器,仅完成对火灾参数的有效采集、变换和传输;火灾报警控制器采用微型机技术实现信息集中处理、数据储存、系统巡检等,并由内置软件完成火灾信号特征模型和报警灵敏度调整、火灾判别、网络通信、图形显示和消防设备监控等功能。在这种结构形式下,火灾报警控制器要一刻不停地处理每个火灾探测器送回的数据,并完成系统巡检、监控、判优、网络通信等功能。当建筑规模庞大、火灾探测器和消防设备数目众多时,单一火灾报警主机会出现应用软件复杂庞大、火灾探测器巡检周期过长、火灾自动报警系统可靠性降低和使用维护不便等缺点。

## (4) 分布智能型系统结构

分布智能型系统是在保留二总线制集中智能型系统优势基础上形成的,它将集中智能型系统中对火灾探测信息的基本处理、环境补偿、探头报脏和故障判断等功能由火灾报警控制器返还给现场真正的火灾探测器,从而免去火灾报警控

制器在量的信号处理负担,使之能够从容地实现上级管理功能,如系统巡检、火灾参数算法运算、消防设备监控、联网通信等,提高了系统巡检速度、稳定性和可靠性。显然,分布智能方式对火灾探测器设计提出了更高要求,要兼顾火灾探测及时性和报警可靠性,必须采用专用集成电路设计技术来降低成本,提高系统的性能价格比。分布智能系统结构形式是火灾自动报警系统的发展方向。

## (5) 网络通信系统结构

网络通信形式的系统既可在集中智能型结构也可在分布智能型结构基础上形成,它主要是将计算机网络通信技术应用于火灾报警控制器,使火灾报警控制器之间能够通过某一网络结构及通信协议,以及专用通信干线交换数据和信息,实现火灾自动报警系统的层次功能设定、数据调用管理和网络服务等功能。一般在网络通信系统结构上,作为集中火灾报警和区域火灾报警用的通用火灾报警控制器的基本功能是相近的,或者可以认为其基本配置是相同的,通用火灾报警控制器之间的通信传输能力要求较强,通常是采用专用传输网络实现相互通信;在网络化连接的多台通用火灾报警控制器中,可以根据建筑物结构和消防控制中心设置的实际需要来指定其中一台作为上级管理用的通用火灾报警控制器(起集中火灾报警和系统管理的作用),该机同时具有区域控制能力,并且往往是通过增强其扩展功能(如增设扩展板、中心联机板、人机界面卡等)来实现所需的系统综合信息处理方面功能要求。

## 1.2.2 火灾自动报警系统设计形式

### (1) 报警区域和探测区域的划分

报警区域应根据防火分区或楼层布局划分,一个报警区域宜由一个或同层相邻的几个防火分区组成。

火灾探测区域是将报警区域按照火灾的部位划分的探测单元。每一个火灾探测区域对应应在火灾报警控制器(或楼层显示盘)上显示一个部位号。这样,才能迅速而准确地探测出火灾报警的具体部位。《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998)规定:火灾探测区域应按独立房(套)间划分。一个探测区域的面积不宜超过  $500\text{m}^2$ 。从主要入口能看清其内部且面积不超过  $1000\text{m}^2$  的房间,也可以划分为一个火灾探测区域。红外光束线型感烟火灾探测器的控制区域长度不宜超过  $100\text{m}$ ;缆式感温火灾探测器的探测区域长度不宜超过  $200\text{m}$ ;空气管差温火灾探测器,其有效探测长度应在  $20\sim 100\text{m}$  之间。

符合下列条件之一的二级保护对象也可将数个房间划为一个探测区域:

- 1) 相邻房间不超过 5 个,总面积不超过  $400\text{m}^2$ ,并在门口设有灯光显示装置。
- 2) 相邻房间不超过 10 个,总面积不超过  $1000\text{m}^2$ ,在每个房间门口均能看清其内部,并在门口设有灯光显示装置。

敞开或封闭楼梯间;防烟楼梯间前室、消防电梯前室、消防电梯与防烟楼梯间合用的前室;走道、坡道、管道井、电缆隧道及建筑闷顶、夹层等应分别单独划分探测区域。

### (2) 系统形式的选择和设计要求

根据火灾监控对象的特点和火灾报警控制器的分类,以及消防设备联动控制要求的不同,火灾自动报警系统的基本设计形式有三种,即区域报警系统、集中报警系统和控制中心报警系统。区域报警系统,宜用于二级保护对象;集中报警系统,宜用于一级和二级保护对象;控制中心报警系统,宜用于特级和一级保护对象。

1) 区域报警系统设计形式。区域报警系统由火灾探测



器、手动报警器、区域报警控制器或通用报警控制器、火灾警报装置等构成，其原理框图如图 8.4-3 所示。区域报警系统主要用于完成火灾探测和报警任务，适用于小型建筑对象或防火对象单独使用。

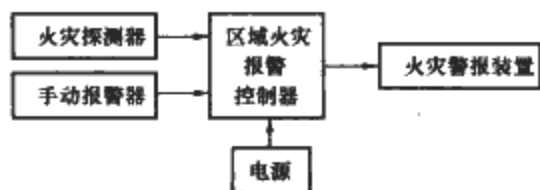


图 8.4-3 区域报警系统

区域报警系统设计时，应符合下列几点：

①一个报警区域宜设置一台区域火灾报警控制器或一台火灾报警控制器，系统中区域火灾报警控制器或火灾报警控制器不应超过两台。

②区域火灾报警控制器或火灾报警控制器应设置在有人值班的房间或场所。

③系统中可设置消防联动控制设备。

④当用一台区域火灾报警控制器或一台火灾报警控制器警戒多个楼层时，应在每个楼层的楼梯口和消防电梯前室等明显部位，设置识别着火楼层的灯光显示装置。

⑤区域火灾报警控制器或火灾报警控制器安装在墙上时，其底边距地面高度宜为 1.3~1.5m，其靠近门轴的侧面距墙应不小于 0.5m，正面操作距离应不小于 1.2m。

2) 集中报警系统设计形式。集中报警系统由火灾探测器、区域火灾报警控制器或用作区域报警的通用火灾报警控制器和集中火灾报警控制器组成。

①传统型集中报警系统。传统型集中报警控制系统是由集中报警控制器、区域报警控制器和火灾探测器等组成报警系统。按照规范规定，集中报警控制系统应设有一台集中报警控制器（或通用报警控制器）和两台以上区域报警控制器（或楼层显示器、带声光报警），其系统框图如图 8.4-4 所示。其中，对于消防泵、喷淋泵、风机等联动控制部分没有画出，这类系统中的联动控制信号取自集中火灾报警控制器，并且通过消防联动控制台对消防设备进行直接控制。

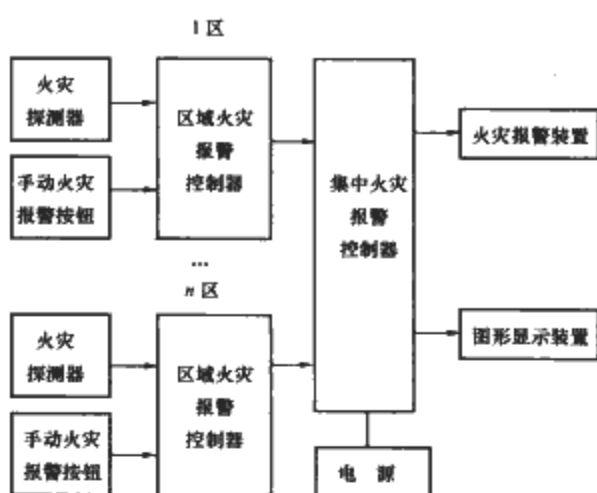


图 8.4-4 集中报警系统（一）

②总线制编码传输型集中报警系统。火灾报警采用总线制编码传输技术，使集中报警系统成为与传统型集中报警系统完全不同的新型系统。这种新型的集成报警系统是由火灾报警控制器、区域显示器（楼层复示器）、声光警报装置及火灾探测器（带地址模块）、控制模块（控制消防联控设备）等组成的总线制编码传输型集中报警系统，其原理如图 8.4-5 所示。

在带有报警总线和联动总线的大型通用火灾报警控制器以及各种火灾探测器和功能模块构成总线制编码传输集中报警系统中，消防泵、喷淋泵等消防主设备的联动控制仍然采用联动控制台实现直接硬线控制，但对于空调系统、电梯、正压送风阀、防火阀、排烟阀、防火卷帘、灭火装置等则采用模块控制或模块传输控制信号，提高了消防设备控制可靠性和控制实现的灵活性，并且使得火灾报警控制器对绝大多数消防设备实现了有效监测。

无论是传统型还是总线制编码传输型集中报警系统的设计，应符合下列要求：

①系统中应设置一台集中火灾报警控制器和两台及以上区域火灾报警控制器，或设置一台火灾报警控制器和两台及以上区域显示器。

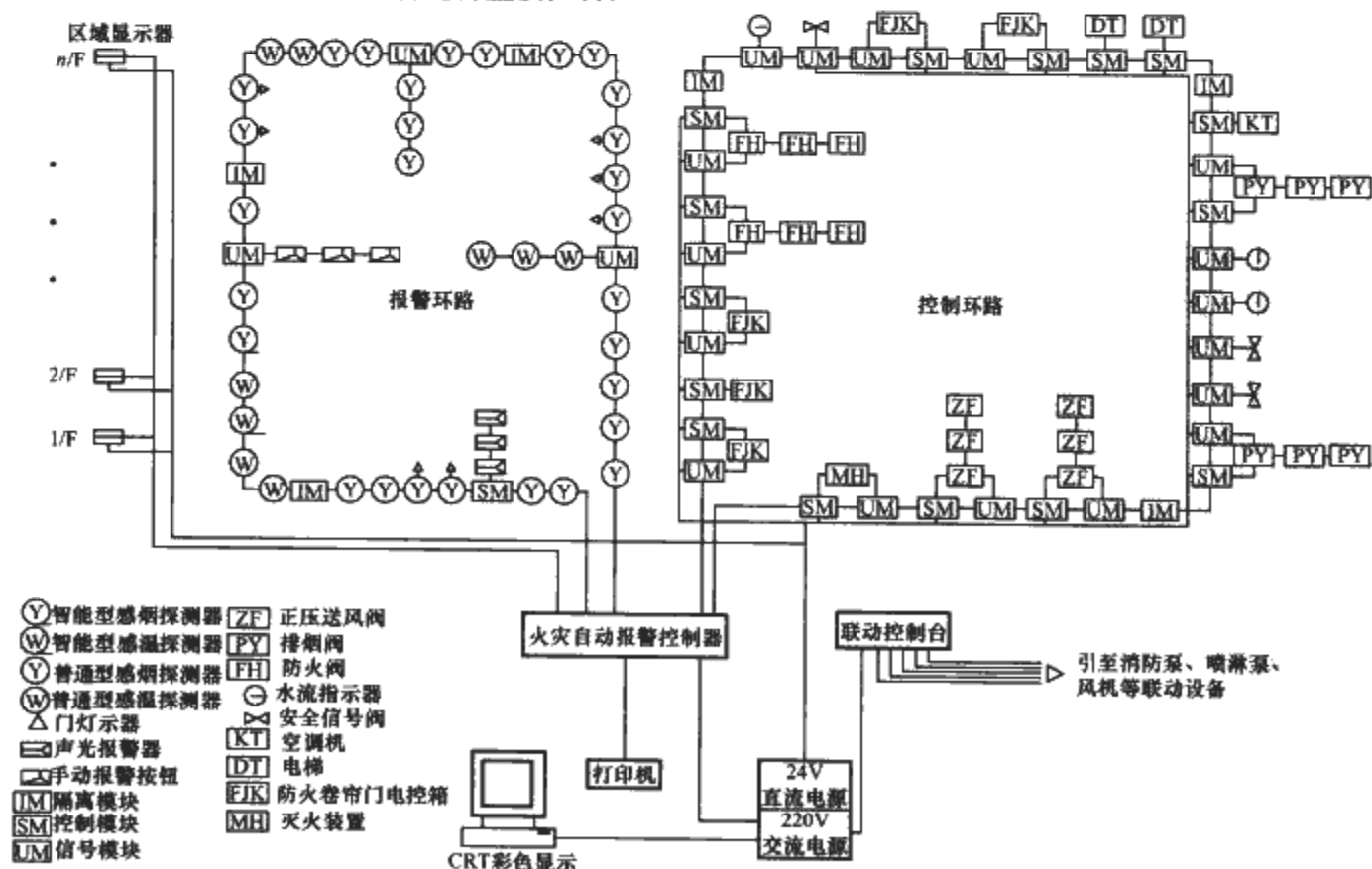


图 8.4-5 集中报警系统（二）

②系统中应设置消防联动控制设备。

③集中火灾报警控制器或火灾报警控制器，应能显示火灾报警部位信号和控制信号，亦可进行联动控制。

④集中火灾报警控制器或火灾报警控制器，应设置在有专人值班的消防控制室或值班室内。

⑤集中火灾报警控制器或火灾报警控制器、消防联动控制设备等在消防控制室或值班室内的布置，应符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998)对消防控制室布置的有关规定。

3) 控制中心报警系统设计形式。控制中心报警系统是由设置在消防控制中心或消防控制室的消防联动控制设备、集中火灾报警控制器、区域火灾报警控制器和各种火灾探测器等组成，或由消防联动控制设备、环状布置的多台通用火灾报警控制器和各种火灾探测器及功能模块等组成。一般地，控制中心报警系统形式是高层建筑及现代建筑中自动消防系统的主要类型，其典型的系统结构有两种形式。

①传统型控制中心报警系统。传统型控制中心报警系统由区域火灾报警控制器、集中火灾报警控制器、各种火灾探测器以及功能模块和消防控制设备（火灾报警器的控制装置、火警电话、空调通风及排烟、消防电梯等控制装置、火灾事故广播及固定灭火系统控制装置等）等构成。其系统框

图如图 8.4-6 所示。

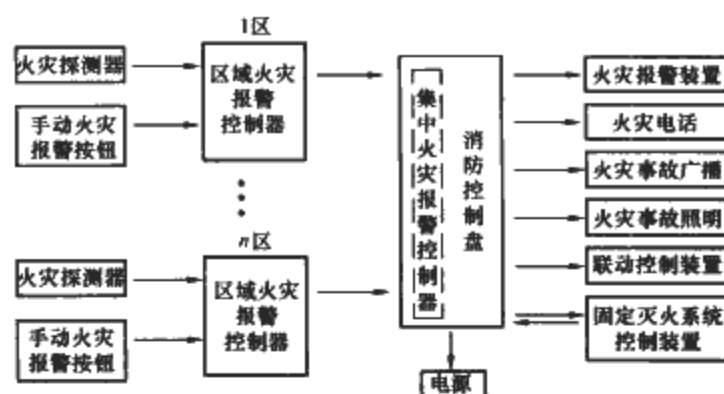


图 8.4-6 控制中心报警系统（一）

②综合型控制中心报警系统。综合型控制中心报警系统由设在消防控制室的消防控制设备、通用火灾报警控制器、区域显示器（或灯光显示装置）和火灾探测器等组成的功能复杂的火灾报警系统，如图 8.4-7 所示。它吸收了传统系统形式的优点，并加强了消防中心控制室对消防设备的监测和控制，增强了火灾应急通信和广播功能，兼容了各种类型的火灾探测器和功能模块，适用于大型宾馆、饭店、商场、大型综合性建筑对象和现代建筑对象。

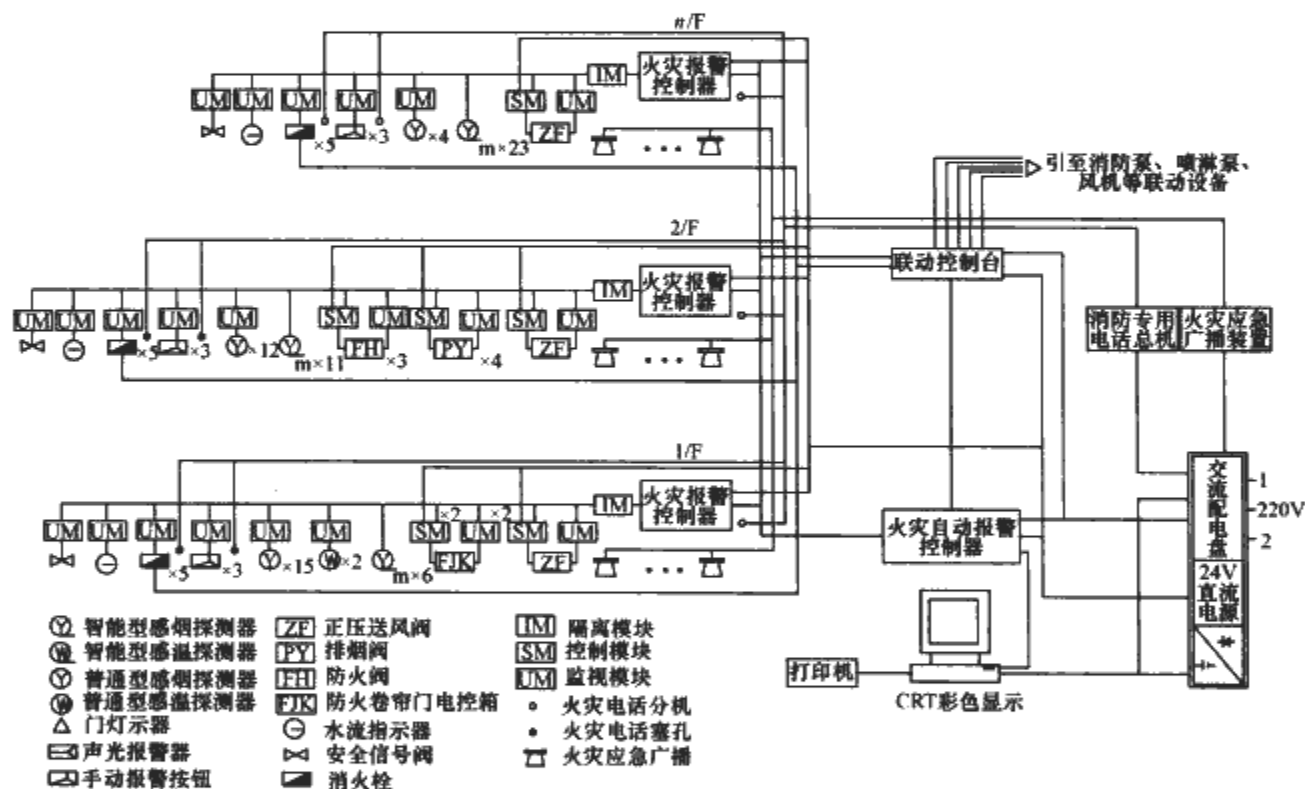


图 8.4-7 控制中心报警系统（二）

控制中心报警系统的设计，应符合下列要求：

①系统中至少应设置一台集中火灾报警控制器、一台专用消防联动控制设备和两台及以上区域火灾报警控制器；或至少设置一台火灾报警控制器、一台消防联动控制设备和两台及以上区域显示器。

②系统应能集中显示火灾报警部位信号和联动控制状态信号。

③系统中设置的集中火灾报警控制器或火灾报警控制器和消防联动控制设备等在消防控制室内的布置，应符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998)对消防控制室布置的有关规定。

随着电子技术迅速发展和计算机软件技术在现代消防技术中的大量应用，火灾自动报警系统的结构、形式越来越灵活多样，很难精确划分成几种固定的模式。火灾自动报警技

术的发展趋向是智能化系统，这种系统可组合成任何形式的火灾自动报警网络结构，它既可以是区域报警系统，也可以是集中报警系统和控制中心报警系统形式，它们无绝对明显的区别，可任意组合设计成需要的系统形式。

### 1.3 火灾报警控制器的型号编制

按照中华人民共和国公共安全行业标准《火灾报警控制器产品型号编制方法》(GA/T 228—1999)规定，火灾报警控制器产品型号编制如图 8.4-8 所示：

①表示消防产品火灾报警设备分类代号，采用“J”表示。

②表示火灾报警控制器产品代号，采用“B”表示。

③④表示应用范围特征代号，表示火灾报警控制器的适用



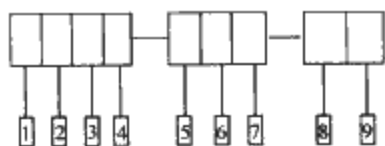


图 8.4-8 火灾报警控制器产品型号编制

场所，具体表示方法是：B——防爆型（位置在前），省略为非防爆型；C——船用型（位置在后），省略为陆用型。

⑤表示分类特征代号及参数。分类特征代号（位置在前）采用一位字母表示：Q——区域火灾报警控制器；J——集中火灾报警控制器；T——通用火灾报警控制器；L——火灾报警控制器（联动型）。

分类特征参数用1位或2位阿拉伯数字表示：对于分类特征代号为集中、通用、集中（联动型）、通用（联动型）的火灾报警控制器，其分类特征参数是可连接的火灾报警控制器数；对于分类特征代号为区域、区域（联动型）的火灾报警控制器，其分类特征参数可省略。

⑥表示结构特征代号，采用字母表示：G——柜式结构；T——台式结构；B——壁挂式结构。

⑦表示传输方式特征代号及参数，传输方式特征代号采用一位字母表示：D——多线制；Z——总线制；W——无线制；H——总线无线混合制或多线无线混合制。

传输方式特征参数用1位阿拉伯数字表示：对于传输方式特征代号为总线制或总线无线混合制的火灾报警控制器，其传输方式特征参数可忽略。

⑧表示厂家代号，一般为2~3位，用厂家名称中有代表性汉语拼音字母或英文字母表示。

⑨表示主参数代码，采用主参数的回路数，每回路的地址数和无线地址数之间用斜线隔开表示。具体方法是：回路数用1位或2位阿拉伯数字表示，每回路的地址数用2位或3位阿拉伯数字表示，无线地址数用2位或3位阿拉伯数字表示。对于集中或集中（联动型）火灾报警控制器，主参数无需反映；对于区域、通用、区域（联动型）、通用（联动型）多线制火灾报警控制器，主参数表示火灾报警控制器的多线回路数；对于区域、通用、区域（联动型）、通用（联动型）无线制火灾报警控制器，主参数表示火灾报警控制器的无线地址数；对于区域、通用、区域（联动型）、通用（联动型）总线制火灾报警控制器，主参数表示火灾报警控制器的总线回路数和每回路的地址数；对于区域、通用、区域（联动型）、通用（联动型）总线无线混合制火灾报警控制器，主参数表示火灾报警控制器的总线回路数、每回路的地址和无线地址数；对于区域、通用、区域（联动型）、通用（联动型）多线无线混合制火灾报警控制器，主参数表示火灾报警控制器的多线回路数和无线地址数。

## 2 火灾探测报警系统新技术

### 2.1 空气采样火灾探测报警系统

#### 2.1.1 空气采样火灾探测报警系统特点

空气采样火灾探测报警系统也称早期火灾探测报警系统，该系统是在采用先进的激光式火灾探测技术和主动式空气采样技术基础上，结合现代神经生物学、信息处理和计算机技术，形成了全新的“人工神经网络”火灾探测算法和灰尘识别技术，使系统具有很强的环境适应性、学习能力、容错能力和并行数据处理能力，火灾识别近乎于人类的神思

维，实现全方位的火灾信号真假判断。

空气采样火灾探测报警系统一般由硬件部分、管路部分和软件部分构成，如图8.4-9所示。其中，硬件部分包括监控主机或探测子机、远端显示器。监控主机由高灵敏度烟雾探测器、抽气机、过滤网、电源模块、报警输出模块、内部通信模块、编程模块、显示模块、外部通信模块等组成；探测子机由高灵敏度烟雾探测器、抽气机、过滤网、电源模块、内部通信模块等组成；远端显示器由内部通信模块、显示模块组成。管路部分主要由标准PVC取样管及接头组成。软件部分包括火灾综合监控软件、报警网络监控软件、管道配置设计软件、系统参数修改查询软件等。

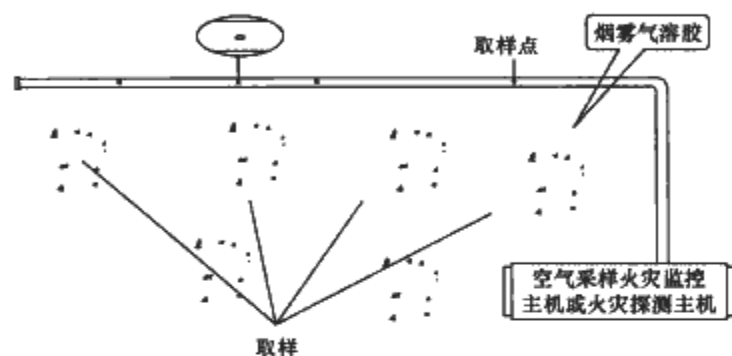


图 8.4-9 空气采样火灾探测报警系统基本构成示意

空气采样火灾探测报警系统属于分布智能系统，除了监控主机带有火灾探测智能外，每一个探测子机也具有智能功能，即探测子机内设有“人工神经网络”微处理器。监控主机与探测子机之间进行双向智能信息交流，使整个系统的响应速度及运行能力空前提高，具有高灵敏度和高可靠性，误报率几乎接近于零。

空气采样火灾探测报警系统的灵敏度可比传火灾探测器高千倍以上，甚至可达0.004% obs/m（obs/m为每米减光率，烟雾浓度测量单位，传统火灾探测器一般为5% obs/m）。众所周知，普通可燃物火灾发展过程可分为四个阶段：受热分解及预热阶段，可见烟雾燃烧阶段，火焰燃烧阶段和剧烈燃烧阶段。传统火灾探测器一般是在火灾发展的后三个阶段进行有效探测和报警，这三个阶段持续时间都相对较短，约为几分钟到十几分钟，即使发现火情，为火灾控制和灭火扑救留出的时间也相对较少。而空气采样火灾探测报警系统依赖其高灵敏度特性和有效的防误报技术，能在火灾的预燃阶段（一般为30~120min）探测到物质受热分解出的肉眼看不见的烟雾微粒并发出火灾报警，从而实现极早期火灾探测并赢得宝贵的火源查找和火灾控制时间。

#### 2.1.2 空气采样式感烟火灾探测系统工作原理

通过进气管道抽取被保护空间的空气样本到多功能中心检测室，来监测被保护空间内烟雾存在与否的火灾探测器，一般也称为空气采样式感烟火灾探测器。空气采样式感烟火灾探测器按其灵敏度可分为普通型和高灵敏度型。普通型空气采样式感烟火灾探测系统，一般是在吸气管道中加装普通点型感烟火灾探测器，其烟雾探测原理与普通点型感烟火灾探测器大体相同。高灵敏度型空气采样式感烟火灾探测器主要由抽取空气样本的PVC管、高效长寿的抽气泵、空气流动控制器、激光探测器、灰尘识别电路、信号处理电路、“人工神经网络”微处理器和报警信号显示电路等组成。

以某高灵敏度空气采样式感烟火灾探测系统为例来说明其工作原理，如图8.4-10所示。其内置抽气泵在气体采样管网中形成一个稳定的气流，通过所敷设的管路不停地从警戒区域抽取空气样本并送到检测室进行分析。为了防止空气中灰尘或其他颗粒对检测过程造成干扰，所采集到的空气样

本要经过一道过滤网。在检测室内特定的空间位置，安装有一个精密激光器及一个特殊反射镜，来自被保护区域的烟雾粒子经过气流传感器穿过反射镜中心孔，激光发射装置发射的平行激光束照射到空气样本上，如空气样本中有烟粒子存在，光束将产生前向散射，散射光线经凹面反光镜发射到高灵敏度激光接收器，所产生的电信号经处理计算，根据测得



图 8.4-10 空气采样火灾探测报警系统的工作原理  
1—信号传输线；2—气流计；3—激光器；4—光接收仪；  
5—空气样本；6—激光束；7—同向散射光；8—反光镜；  
9—外壳；10—烟雾颗粒；11—并孔圆板；12—反射器

的散射光信号脉冲数，测量出空气样本中的烟粒子量，而其他杂乱光线透过中心光孔后由平面反光镜反射出检测室。火灾探测报警系统对测得的烟粒子信号，经“人工神经网络”微处理器处理后，与动态修订的火灾报警阈值比较，如果烟雾浓度达到报警级别则发出火警信息。

空气采样式火灾探测报警系统按探测原理可分为浓度计数式、激光粒子计数式和灰尘识别式激光粒子计数三种。空气采样式火灾探测报警系统按其信号处理算法可分为模糊算法和人工神经网络算法两种。处理火灾探测这类非平衡随机过程问题，最有效方法是人工神经网络算法，它的自学习功能使探测系统能适应环境的变化，容错能力提高了系统可靠性和大大降低误报，并行数据处理功能加快了系统的探测速度。

某早期火灾探测报警系统与传统感烟式火灾探测系统在探测原理、采样方式、探测灵敏度、抗干扰能力、环境适应性等方面存在较大的差异，两种系统之间的性能比较如表 8.4-1 所示。

表 8.4-1 某空气采样式火灾探测报警系统与传统感烟式火灾探测系统的性能对比

项 目	传统点型感烟探测系统	空气采样式火灾探测报警系统
探测原理	烟雾扩散至探测器并达到一定浓度才能实现探测和报警，属于被动式探测，一般采用光电组件和放射源、单向模拟量可寻址技术	主动抽取监测区域的空气，只要空气中含有烟尘，就能及时报警，属于主动式探测，一般采用激光前向散射技术和人工神经网络智能技术
采样方式	利用烟雾的热上升特性，只有当烟雾上升达到或超过探测器安装高度时，才能在烟雾检测室形成烟雾聚集，反映烟雾浓度大小	主动抽气式烟雾探测，通过抽气管路和取样孔的有效布置，能够克服房间高度的影响，将火灾初期产生的微量烟雾吸收到烟雾检测室内，对微量烟雾作出灵敏反应
灵敏度	5%~20%obs/m；当产生火灾探测器报警时，留给值班人员实施火灾扑救的时间只有几分钟至几十分钟；灵敏度由人工设定	0.004%~4%obs/m；当探测器报警时，留给值班人员控制和扑灭火灾的时间有 100~200min；可设置 3 个可调的灵敏度等级，灵敏度由机器自动设定，人工仅设定误报率
抗干扰能力	控制器和探测器之间相连的电源线和信号线较长，易形成天线效应，感应空间电磁波，尤其是在通信、计算机房等强电磁干扰区域，轻则影响探测器和控制器之间的信号传输，重则可能损坏控制器和探测器的内部组件	采样由 PC 管道、取样孔等组成，无需走电线，所有电子组件都在探测器机壳内，不易受外界电磁场干扰，可用于易燃易爆场所、超强电磁辐射场所、微波室、正负电子对撞机房、油库和军火库
安装维护	使用一定时间必须进行清洗和标定，维护工作量大，费用较高	PVC 采样管网与主机无电气连接，只需定期清除过滤网灰尘，维护工作量小，无需费用
适用范围	点型感烟式探测器适用于办公室、宾馆客房等建筑环境中。在许多特殊场所和工业环境无法使用	适用于通信机房、计算机房、洁净室等大面积、高气流、高洁净的地方；也适用于电缆隧道、发电厂、银行、档案馆等场所
组网能力	一般只能独立组网，部分产品可以通过 RS232/485 接口与计算机互联	可以独立组网，也可以通过 RS485 接口与计算机联网，或者通过继电器开关量接口与其他系统联网（如传统报警控制系统）；具有黑匣子功能，能记录所有信息
抗环境气流影响	受环境气流的影响大，要求环境气流速度不大于 5m/s，在许多强气流环境根本无法报警	不受环境气流的影响，可用于具有大型空调机组的计算中心、程控机房等环境，以及室内空气流动强烈、传统感烟探测器无法应用的环境
光学器件的清洗	传统光电感烟探测器长时间使用，其光学器件上会布满灰尘，使灵敏度下降甚至失败，必须由人工逐个检测清洗，工作量大且易损坏器件	借鉴主动抽气式原理，利用抽进并过滤的空气对光学器件不断进行清洗，使光学器件始终保持最佳工作状态，不用人工清洗

2.2 双波段图像火焰探测报警系统

2.2.1 双波段图像火焰探测器的构成

双波段图像火焰探测器的构成方式有 IRCCD 摄像机加普通 CCD 摄像机；红外热释电摄像机加普通 CCD 摄像机；红外微光摄像机加普通 CCD 摄像机；普通 CCD 摄像机加红外滤光片；普通 CCD 摄像机加液晶光闸等几种。

综合考虑早期火灾探测能力、造价成本、寿命和稳定性等因素，用于火灾监控的首选摄像器件为：微光摄像机（低

照度摄像机）配合红外滤光，其次为黑白 CCD 配合红外滤光；从火灾确认的角度，微光摄像机加彩色摄像机（红外波段加彩色波段）即双波段探测为综合考虑烟气热辐射与火焰彩色视频的较好组合。

2.2.2 双波段图像火焰探测系统工作原理

以普通 CCD 摄像机加液晶光闸火灾图像报警系统为例，系统图如图 8.4-11 所示。被监控的场景经液晶光闸、CCD 摄像机、视频转换器、图像采集卡进入计算机，计算机对视频图像信号进行图像处理和多项火灾判据识别后，得出有无

火灾的结论。

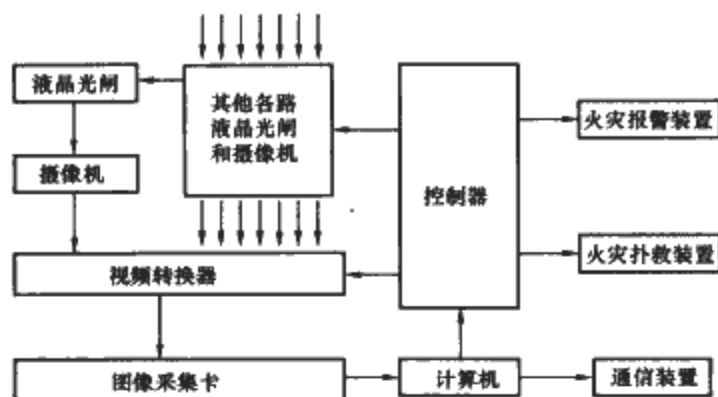


图 8.4-11 某火灾图像报警系统的工作原理

液晶光闸在控制器控制下，对可见光有开、关两种功能。当液晶光闸加上控制信号时，可见光能通过液晶光闸、CCD 摄像机到达计算机，在计算机的监视器上显示场景图像，这时系统既可以用来确认火灾，也可作为安防监控系统使用。当液晶光闸不加上控制信号时，可见光不能通过液晶光闸到达 CCD 摄像机，即可见光被滤除，而红外图像能经 CCD 摄像机到达计算机，这时液晶光闸为关闭方式，系统处于火灾监控状态。

通常情况下，火灾图像报警系统处在火灾监控状态。当探测到火灾时，计算机触发控制器发出控制信号，使液晶光闸接通，监视器上立即显示被监控场景。在自动方式时，经延时后自动启动火灾报警及其他联动控制装置等。控制器还可以通过视频转换器，依此将各个摄像机的输出信号接入火灾报警系统，实现火灾探测的巡检。

## 2.3 光截面图像感烟探测系统

光截面图像感烟探测系统采用红外发光阵列作为线性光束发射器，CCD 器件作为光电接收器，每个接收器对应多个发射器。探测系统利用火灾烟雾吸收消光现象，根据烟雾消光在 CCD 上形成的光斑影像视频信号，并结合模式识别、持续趋势和预测适应等算法，对火灾进行识别，从而实现火灾探测报警。

### 2.3.1 系统构成

光截面图像感烟火灾探测系统的原理如图 8.4-12 所示，主要由红外发光阵列、CCD 成像系统及信号处理部分组成。

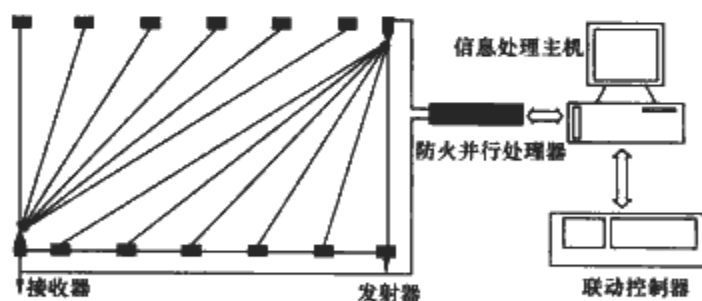


图 8.4-12 光截面图像感烟探测系统原理

### 2.3.2 工作原理

红外发光阵列发射红外光，光线穿过被监控区域，在红外摄像机光靶阵列上成像，形成红外光斑影像。分布不同部位的红外摄像机以视频信号的方式将光斑影像传给防火并行处理器，由防火并行处理器将被分析影像信号送入中央处理器进行火灾分析，如发现火灾，即通过联动控制报警器进行火灾报警。

具体过程是：系统将红外光斑影像信号变成数字图像并存储，对光斑图像分割采用动态直方图或值分割与模板匹配的方法，将光斑信号与背景信号分离，得到一系列光斑亮度数据，

然后采用模式识别、持续趋势和预测适应等算法，与烟气特性规律进行比较、匹配，从而判别火灾信号与非火灾信号。

### 2.3.3 系统特点

1) 由多光束组成光截面，对被保护空间实施任意曲面覆盖，扩大了快速响应区域的面积。

2) 对光截面中相邻光束的相关分析，克服了单光束火灾报警由于系统偶然因素而引起的误报。

3) 自动检测和跟踪由灰尘积累而引起的工作状态漂移，当漂移超出给定范围时，自动发出故障信号。同时跟踪环境变化，自动调节探测器的工作参数。

4) 面成像自动跟踪定点监测，可以避免由于安装移动而造成的误报。

5) 面成像的使用，使得光截面图像感烟在空间具有分辨发射光源和干扰光源的能力，提高了系统抗干扰性能，扩大了系统的应用范围。

6) 多管阵列发射克服了单管发射灵敏度下降导致的误报，提高了系统的可靠性。

7) 红外摄像机光靶阵列接收避免了单管接收由于震动导致发射光脱离接收管的视场范围产生的误报，提高了系统的抗震动性能和可靠性。

## 3 可燃气体报警系统

### 3.1 可燃气体探测原理

可燃气体的探测原理，按照使用的气敏元件或传感器的不同主要分为热催化原理、热导原理、气敏原理和三端电化学原理等四种。热催化原理是指利用可燃气体在有足够氧气和一定高温条件下，发生在铂丝催化元件表面的无焰燃烧，放出热量并引起铂丝元件电阻的变化，从而达到可燃气体浓度探测的目的。热导原理是利用被测气体与纯净空气导热性的差异和在金属氧化物表面燃烧的特性，将被测气体浓度转换成热丝温度或电阻的变化，达到测定气体浓度的目的。气敏原理是利用灵敏度较高的气敏半导体元件吸附可燃气体后电阻变化的特性来达到测量和探测目的。三端电化学原理是利用恒电位电解法，在电解池内安置三个电极并施加一定的极化电压，以透气薄膜针电解池同外部隔开，被测气体透过此薄膜达到工作电极，发生氧化还原反应，从而使得传感器产生与气体浓度成正比的输出电流，达到探测目的。

采用热催化原理和热导原理测量可燃气体时，不具有气体选择性，即具有可燃气体探测的广谱性，通常以体积百分浓度表示气体浓度。催化燃烧式气体传感器的优点是对可燃气体探测线性好，受温度、湿度影响小，响应快。缺点是对低浓度可燃气体灵敏度低，敏感元件受到催化剂侵害后其特性锐减，金属丝易断。热导率变化式气体传感器的特点是不用催化剂，不存在催化剂影响而使特性变坏问题，既可用于可燃性气体测量，也可用于无机气体及其浓度测量。

采用气敏原理和三端电化学原理测量可燃气体时，具有气体选择性，适用于气体成分检测和低浓度测量，通常以 ppm ( $1\text{ppm}=10^{-6}$ ) 表示气体浓度。一般地，气敏半导体传感器廉价，灵敏度高，但可靠性、对气体的选择性、稳定性较差；电化学传感器灵敏度、可靠性、气体选择性、稳定性较好，响应速度良好，测定范围宽，但价格较高。

### 3.2 可燃气体探测方法

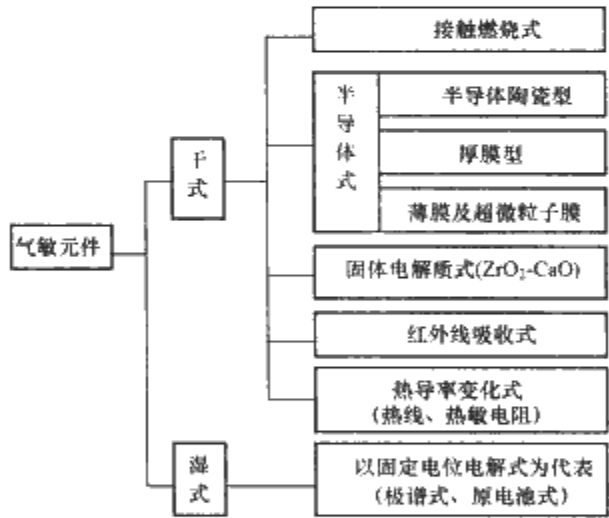
对可燃气体进行有效测量的方法随气体的种类、浓度、成分、用途而异，当前主要使用的气敏元件种类如图 8.4-13

所示，主要的气体检测方法如表 8.4-2 所示。一般地，用于实际工程中的可燃气体探测器多为点型结构形式，其传感器输出信号的处理方式多采用阈值比较方式。在工程应用中，一般多采用微功耗热催化元件实现可燃气体浓度检测，采用气敏半导体元件或三端电化学元件实现可燃气体成分和有害气体成分检测。

表 8.4-2 当前主要使用的气体检测方法

气 体		NO <sub>x</sub>	CO CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	H <sub>2</sub> S	臭氧	H <sub>2</sub>	CS <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub> C <sub>n</sub> H <sub>2n-2</sub>	NH <sub>3</sub>	HCN
分析方法													
电 化 学 法	溶液导电方式		0	0				0	0			0	
	恒电位电解方式	0	0	0	0				0			0	
	隔膜一次电池方式					0							
	电量法			0	0				0			0	
	隔膜电极法												
光 学 法	红外吸收法	0	0	0	0			0		0	0	0	0
	可见光吸收光度法	0			0	0			0				
	光干涉法	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0
	化学发光法	0				0							
	试纸光电光度法				0								
电 气 方 法	氢焰离解法									0	0		0
	导热法		0							0	0		
	接触燃烧法		0							0	0		0
	半导体法		0				0	0	0	0	0		
其他	气体色谱法	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0
气体存在环境		大气污染气体					工业、家庭用（丙烷等）气体						

注 0 表示可测量。



可燃气体探测器在使用过程中应当注意以下几点：

- 1) 安装位置应当根据待探测的可燃气体性质来确定。若被探测气体为天然气、煤气等，较空气轻，极易飘浮上升，应将可燃气体探测器安装在设备上方或天花板附近；若被探测气体为液化石油气等，较空气重，则应安装在距地面不超过 50cm 的低处。
- 2) 可燃气体探测器属长期通电工作状态，应当每月检查一次，现场检查方法是用棉球蘸上一点酒精靠近气敏元件，如给出报警（显示），表明工作正常。
- 3) 催化元件对多种可燃气体几乎有相同的敏感性，所以在有混合气体存在的场所，它不能作为分辨混合气体组分的敏感元件来使用。
- 4) 可燃气体敏感元件的理化特性研究表明，硫化物可使元件特性发生变化，且又不能恢复，出现所谓“中毒”现象，所以，可燃气体敏感元件需防“中毒”，并且避免直接油浸或油

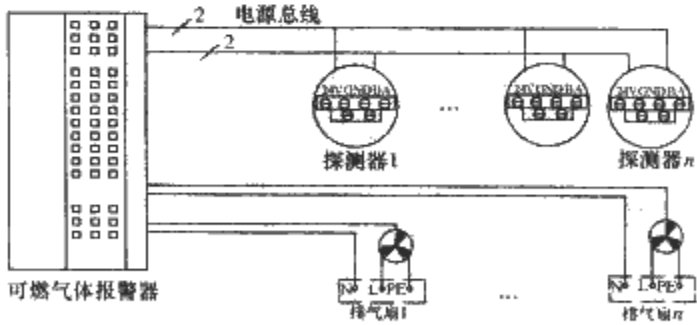
垢污染，也不能在有酸、碱腐蚀性气体中长期使用。

3.3 可燃气体报警系统设计

可燃气体储罐或储罐区、用可燃气体等作燃料的锅炉房等建筑物内以及根据工艺需要装设可燃气体的地方或场所，宜设置可燃气体报警装置。

可燃气体和可燃液体报警探测器宜设置固定式或移动式可燃性气敏检测和报警装置，设固定式可燃性气敏检测报警装置的建筑物或场所，应设置独立的气敏报警系统，有条件时亦可与火灾报警系统综合组成自动喷气、喷泡沫等自动灭火控制系统。

若采用火灾自动报警系统警戒可燃气体和可燃液体报警系统时，则火灾探测器应选用防爆型感光、感温探测器。报警系统所发送的预报或灭火信号应送至消防控制室或消防值班室。如图 8.4-14 所示为某总线型可燃气体报警控制系统图。



4 电气火灾监控系统

4.1 电气火灾监控系统的组成

电气火灾监控系统能准确监控电气线路的故障和异常状

态,能发现电气火灾的火灾隐患,及时报警提醒人员去消除这些隐患。国际电工委员会 IEC1200—53 1994—10 中 593.3 条明确要求采用两级或三级剩余电流保护装置,防止由于漏电引起的电气火灾和人身触电事故。

电气火灾监控系统主要由电气火灾监控设备、电气火灾监控探测器等组成。电气火灾监控探测器又分为剩余电流式电气火灾监控探测器、测温式电气火灾监控探测器、线型感温火灾探测器等。

电气火灾监控设备的报警信息应能传输到消防控制室图形显示装置,并独立显示。电气火灾监控系统系统保护区域内有联动和警报要求时,可以由电气火灾监控设备本身实现,也可以由消防联动控制器实现。

## 4.2 电气火灾监控系统的设计

电气火灾监控系统应具有下列功能:

- 1) 探测漏电电流、过电流、温升等信号,发出声光信号报警,准确报出故障线路地址,监视故障点的变化。

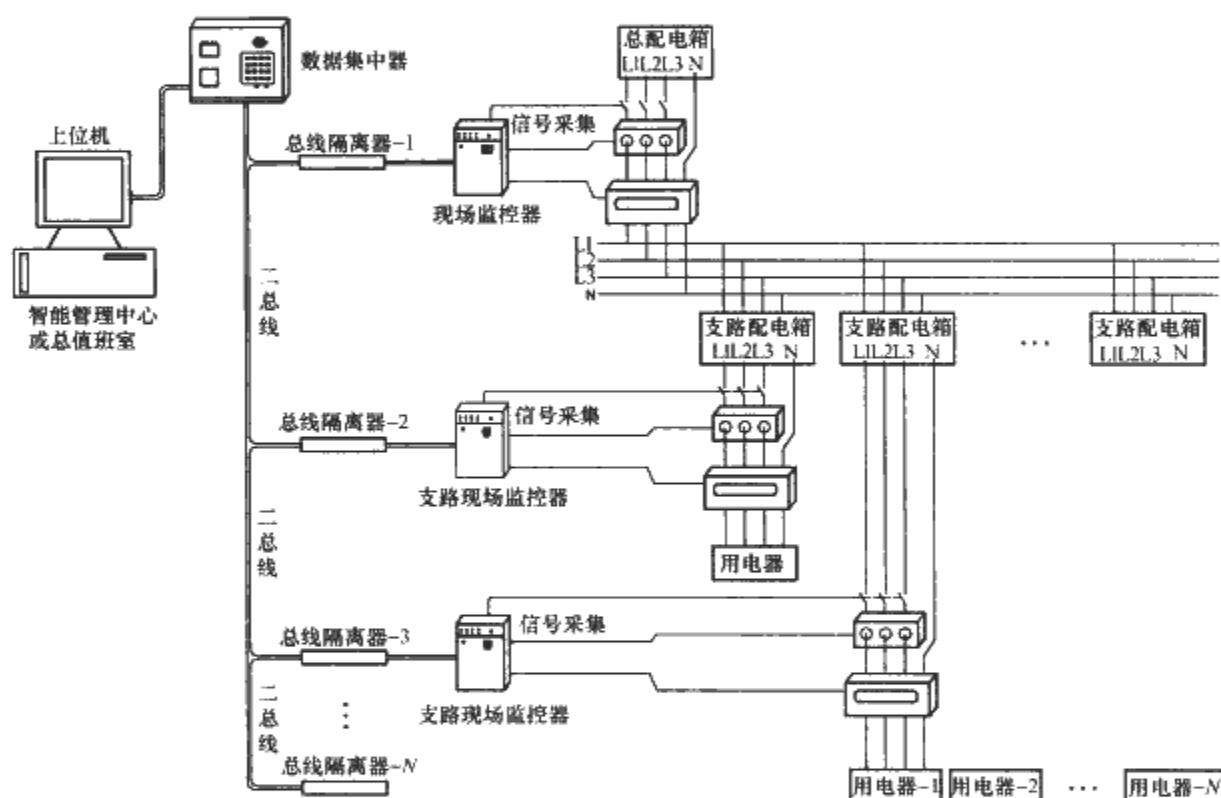


图 8.4-15 某电气火灾监控系统图

## 4.3 电气火灾监控系统的设置

### 4.3.1 一般规定

- 1) 应根据建筑物的性质、发生电气火灾危险性、保护对象等级设置电气火灾监控系统。
- 2) 应根据工程规模和需要检测电气火灾部位,确定采用独立式探测器或非独立式探测器。应根据电气敷设和用电设备具体情况,确定电气火灾监控探测器形式与安装位置。
- 3) 在无消防控制室且电气火灾监控探测器设置数量不超过 8h,可采用独立式电气火灾监控探测器。
- 4) 电气火灾监控系统的设置不应影响供电系统的正常工作。

### 4.3.2 剩余电流式电气火灾监控探测器的设置

- 1) 剩余电流式电气火灾监控探测器的设置应以低压配电系统末端探测为基本原则,宜设置在配电柜进线或出线端。在供电末端负载和漏电流很小,且其上一级的负载条件和正常泄漏电流仍符合设置剩余电流式电气火灾探测器时,

2) 储存各种故障和操作试验信号,信号存储时间应不少于 12 个月。

3) 切断漏电线路上的电源,并显示其状态。

4) 显示系统电源状态。

目前常见电气火灾监控系统均为总线制系统,图 8.4-15 为某电气火灾监控系统的基本接线图,其系统工作原理为:现场监控器与零序电流互感器、电流互感器或温度传感器等共同构成电气火灾监控系统的前置部分,零序电流互感器、电流互感器或温度传感器等分别检测回路的漏电电流、三相工作电流或对象温升等,并将检测信号输送给现场监控器。现场监控器的主要功能是对配电回路的漏电电流、三相工作电流或对象温升等进行有效监控并将实时数据上传至数据集中控制器。当受监控的某一回路的漏电电流或工作电流或对象温升等超过事先设定的预报警值时发出声光预报警信号,并根据设定可以在规定的时间内切除受监控回路的供电电源,同时并能通过二总线将报警信号或预警信号发送至数据集中控制器。

可以在其上一级供电处设置。

2) 剩余电流式电气火灾监控探测器应安装在 TN-C-S 系统或局部 TT 系统的场所。

3) 剩余电流式电气火灾监控探测器报警值必须与探测电气线路相适宜,探测器报警的泄漏电流不应小于被保护电气线路和设备的正常运行时泄漏电流最大值的 2 倍。

4) 剩余电流式电气火灾监控探测器额定电流、额定电压等指标应满足被保护线路的要求。

5) 剩余电流式电气火灾监控探测器应用于报警,不宜自动切断保护对象的供电电源。

6) 下列电气设备可不安装剩余电流式电气火灾监控探测器:

- ①使用安全电压供电的电气设备。
- ②一般环境条件下使用的具有加强绝缘(双重绝缘)的电气设备。
- ③使用隔离变压器且二次侧为不接地系统供电的电气设备。



④具有非导电条件场所的电气设备。

7) 选择剩余电流式电气火灾监控探测器时,应考虑供电系统固有的剩余电流,并选择参数合适的探测器,尽量使每只探测器充分发挥作用,减少构成监控系统的探测器数量。

8) 剩余电流式电气火灾监控探测器设置部位见表 8.4-3。

表 8.4-3 剩余电流式电气火灾监控探测器设置部位

系统保护对象分级	剩余电流式电气火灾监控探测器设置部位		
	正常照明	正常动力	应急照明
特级	●	●	●
一级	十九层及十九层以上的居住建筑	●	○
	一类建筑	●	●
	建筑高度不超过 24m 的公共建筑及建筑高度超过 24m 的 单层公共建筑	●	●
	工业建筑	●	●
	地下公共建筑	●	●
二级	十层至十八层的居住建筑	●每栋(或单元)居住建筑的 总电源进线处	
	二类建筑	●	○
	建筑高度不超过 24m 的公共建筑	●	○
	工业建筑	●	●
	地下公共建筑	●	○
三级	十层以下的居住建筑	○每栋(或单元)居住建筑的 总电源进线处	

注 ●表示应设置;○表示宜设置。

#### 4.3.3 测温式电气火灾监控探测器的设置

1) 测温式电气火灾监控探测器的设置应以探测电气系统异常时发热为基本原则,宜设置在电缆接头、电缆本体、开关触点等发热部位。

2) 探测对象为低压供电系统时,宜采用接触式布置的测温式电气火灾监控探测器。在被探测对象为绝缘体时,宜将探测器的温度传感器直接设置在被探测对象的表面,采用接触式布置。

3) 探测对象为配电柜内部温度变化时,可采用非接触式布置,但宜靠近发热部件设置。

4) 用线型感温火灾探测器保护电缆时,可将该线型感温火灾探测器接入电气火灾监控器。

5) 测温式电气火灾监控探测器设置部位见表 8.4-4。

表 8.4-4 测温式电气火灾监控探测器设置部位

系统保护对象分级	测温式电气火灾监控探测器设置部位			
	树干式配电回路出线端	放射式配电回路出线端或进线端	有可能产生过热型故障的配电设备	电缆接头、分支头及接线处
特级	●	●	●	○
一级	十九层及十九层以上的居住建筑	●	●	○
	一类建筑	●	●	○
	建筑高度不超过 24m 的公共建筑及建筑高度超过 24m 的 单层公共建筑	●	●	○
	工业建筑	●	●	○
	地下公共建筑	●	●	○

续表

系统保护对象分级	测温式电气火灾监控探测器设置部位			
	树干式配电回路出线端	放射式配电回路出线端或进线端	有可能产生过热型故障的配电设备	电缆接头、分支头及接线处
二级	十层至十八层的居住建筑	○每栋(或单元)居住建筑的总电源进线处		
	二类建筑	○	○	○
	建筑高度不超过 24m 的公共建筑	○	○	○
	工业建筑	○	○	○
	地下公共建筑	○	○	○

注 ●表示应设置;○表示宜设置。

#### 4.3.4 电气火灾监控设备的设置

1) 电气火灾监控设备应设置在消防控制室内或有人值班的场所;在有消防控制室且将电气火灾监控设备的报警信息和故障信息传输给消防控制室时,电气火灾监控设备可以设置在保护区附近。

2) 电气火灾监控设备的报警信息和故障信息可以接入设置在消防控制室的消防控制室图形显示装置集中显示;但该类信息的显示应与火灾报警信息和可燃气体报警信息显示有明显区别。

3) 电气火灾监控设备的安装设置应参照火灾报警控制器的设置要求。

4) 保护区域内有联动要求时,可以由电气火灾监控设备本身控制输出控制,也可由消防联动控制器控制输出控制。

#### 4.3.5 独立式电气火灾监控探测器的设置

1) 在设置有火灾自动报警系统的建筑中,独立式电气火灾监控探测器的报警信息可以接入火灾报警控制器或消防控制室图形显示装置显示,但其报警信息显示应与火灾报警信息显示有明显区别。

2) 在未设置火灾自动报警系统的建筑中,独立式电气火灾监控探测器应配接火灾声光警报器使用,在探测器发出报警信号时,应自动启动火灾声光警报器。

#### 4.4 固有泄漏电流估算

1) 电气火灾探测器的报警设定值应考虑配电系统及用电设备的正常泄漏电流。

2) 配电系统及用电设备的正常泄漏电流以实测为准,设计时可参照表 8.4-5~表 8.4-7 估算。

表 8.4-5 220/380V 线路每公里泄漏电流 单位: mA

绝缘材质	截面积 (mm <sup>2</sup> )												
	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
聚氯乙烯	52	52	56	62	70	70	79	89	99	109	112	116	127
橡皮	27	32	39	40	45	49	49	55	55	60	60	60	61
聚乙烯	17	20	25	26	29	33	33	33	33	38	38	38	39

表 8.4-6 电动机泄漏电流 单位: mA

运行方式	额定功率 (kW)												
	1.5	2.2	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55	75
正常运行	0.15	0.18	0.29	0.38	0.5	0.57	0.65	0.72	0.87	1.00	1.09	1.22	1.48
电动机启动	0.58	0.79	1.57	2.05	2.39	2.63	3.03	3.48	4.58	5.57	6.60	7.99	10.54



表 8.4-7

荧光灯、家用电器、计算机泄漏电流

单位: mA

设备名称	型 式	泄漏电流	设备名称	型 式	泄漏电流
荧光灯	安装在金属构件上	0.1	家用电器	Ⅱ级设备	$\leq 0.25$
	安装在木质或混凝土构件上	0.02		I 级电热设备	$\leq 0.75 \sim 5$
家用电器	手握式 I 级设备	$\leq 0.75$	计算机	移动式	1.0
	固定式 I 级设备	$\leq 3.5$		固定式	3.5
				组合式	15.0

## 第5章 系统供电及消防设备电源

### 1 火灾自动报警系统供电

火灾自动报警系统应设有 AC 电源和蓄电池备用电源。火灾自动报警系统的 AC 电源应采用消防电源, 直流备用电源可采用火灾报警控制器自带的蓄电池电源或集中设置的蓄电池电源。当直流备用电源采用集中设置的蓄电池应急控制电源时, 火灾报警控制器应采用单独的供电回路, 并应保证在系统处于最大负载状态下不影响报警控制器的正常工作。

消防控制室图形显示装置、消防通信设备等的电源, 宜由 UPS 电源装置或蓄电池型应急控制电源供电。蓄电池备用电源容量应保证火灾自动报警系统在 AC 电源中断后, 工作 3h。

火灾自动报警系统主电源的保护开关不应采用脱扣型剩余电流保护器, 可采用只报警的剩余电流式电气火灾监控探测器进行监控。

火灾自动报警系统的直流备用电源应采用火灾报警控制器自带的蓄电池电源或集中设置的蓄电池应急电源供电; 集中设置的蓄电池备用电源输出功率应大于火灾自动报警及联动系统全负荷功率的 120%, 蓄电池组额定初装容量应保证火灾自动报警及联动系统在火灾状态同时工作负荷率下连续工作 3h。

### 2 消防设备电源

高层建筑的消防控制室、消防水泵、消防电梯、防烟排烟设施、火灾自动报警系统、电气火灾监控系统、自动灭火系统、应急照明、疏散指示标志和电动的防火门、窗、卷帘、阀门等消防用电, 应按现行的国家标准《供配电系统设计规范》GB50052 的规定进行设计, 一类高层建筑应按一级负荷要求供电; 二类高层建筑应按二级负荷要求供电。

归属《建筑设计防火规范》的建筑物、储罐、堆场的消防用电设备, 其电源应符合下列要求:

1) 除粮食仓库及粮食筒仓工作塔外, 建筑高度大于 50.0m 的乙、丙类厂房和丙类仓库的消防用电应按一级负荷供电;

2) 下列建筑物、储罐(区)和堆场的消防用电应按二级负荷供电:

①室外消防用水量超过 30L/s 的工厂、仓库。

②室外消防用水量超过 35L/s 的可燃材料堆场、可燃气体储罐(区)和甲、乙类液体储罐(区)。

③座位数超过 1500 个的电影院、剧院, 座位数超过 3000 个的体育馆、任一层建筑面积大于 3000m<sup>2</sup> 的商店、展览建筑、省(市)级及以上的广播电视楼、电信楼和财贸金融楼, 室外消防用水量大于 25L/s 的其他公共建筑。

3) 除本节 1)、2) 款外的建筑物、储罐(区)和堆场等的消防用电设备, 可采用三级负荷供电。

火灾消防及其他防灾系统用电, 当建筑物为高压受电时, 宜从变压器低压出口处分开自成供电体系, 即独立形成防灾供电系统。一级负荷供电的建筑, 当采用自备发电设备作备用电源时, 自备发电设备应设置自动和手动启动装置,

且自动启动方式应能在 30s 内供电。

消防用电的自备应急发电设备, 当由市电切换到柴油发电机电源时, 自动装置应执行先停后送的程序, 并应保证一定时间间隔。在接到“市电恢复”讯号后延时一定时间, 再进行油机对市电的切换。

消防控制室、消防水泵、消防电梯、防烟排烟风机等应由两路电源供电, 并在最末一级配电箱处设置自动切换装置。消防设备与为其配电的配电箱距离不宜超过 30m。

各类消防用电设备在火灾发生期间, 最少持续供电时间应符合表 8.5-1 的规定。

表 8.5-1 消防用电设备在火灾发生期间的最少持续供电时间

序 号	消防用电设备名称	持续供电时间 (min)
1	火灾自动报警装置	≥10
2	人工报警器	≥10
3	各种确认、通报手段	≥10
4	消火栓、消防泵及水幕泵	>180
5	自动喷水系统	>60
6	水喷雾和泡沫灭火系统	>30
7	CO <sub>2</sub> 灭火和干粉灭火系统	>30
8	防排烟设备	>180
9	火灾广播	≥20
10	火灾疏散标志照明	≥30
11	火灾暂时继续工作的备用照明	≥180
12	避难层备用照明	>60
13	消防电梯	>180

### 3 消防设备配电线路敷设

消防用电设备应采用专用的供电回路, 其配电设备应设有明显标志。其配电线路和控制回路宜按防火分区划分。消防用电设备配电系统的分支线路, 不应跨越防火分区, 分支干线不宜跨越防火分区。

消防设备供电及控制线路选择, 应符合下列规定:

1) 火灾自动报警系统保护对象分级为特级的建筑物, 其消防设备供电干线及支线干线, 应采用矿物绝缘电缆。

2) 火灾自动报警保护对象分级为一级的建筑物, 其消防设备供电干线及支线干线, 宜采用矿物绝缘电缆; 当线路的敷设保护措施符合防火要求时, 可采用有机绝缘耐火类电缆。

3) 火灾自动报警保护对象分级为二级的建筑物, 其消防设备供电干线及支线干线, 应采用有机绝缘耐火类电缆。

4) 消防设备的分支线路和控制线路, 宜选用与消防供电干线及支线干线耐火等级降一类的电线或电缆。

消防用电设备的配电线路应满足火灾时连续供电的需要, 其敷设应符合下列规定:

1) 暗敷设时, 应穿管并应敷设在不可燃体结构内且保护层厚度不应小于 30mm; 明敷设时, 应穿有防火保护的金属管或有防火保护的封闭式金属线槽。

- 2) 当采用阻燃或耐火电缆时,敷设在电缆井、电缆沟内可不采取防火保护措施。
- 3) 当采用矿物绝缘类不燃性电缆时,可直接敷设。
- 4) 宜与其他配电线路分开敷设;当敷设在同一井沟内时,宜分别布置在井沟的两侧。

4 消防主电源与应急电源的切换

当消防应急电源由自备发电机组提供备用电源时,应符合下列要求:

- 1) 消防用电负荷为一级时,应设自动启动装置,并应在 30s 内供电。
- 2) 消防用电负荷为二级,且采用自动启动有困难时,可采用手动启动装置。
- 3) 主电源与应急电源间,应采用自动切换方式。

(1) 电源前端切换

主电源与应急电源的前端切换如图 8.5-1 所示。消防负荷各独立馈电线分别接自应急母线,集中受电,并以放射式向消防用电设备供电。自备发电机组向应急母线提供应急电源。应急母线则以一条单独馈线经自动开关(称联络开关)与主电源变电所低压母线相连接。正常情况下,该自动开关是闭合的,消防用电设备经应急母线主电源供电。当主电源出现故障或因火灾而断开时,主电源低压母线失电,联络开关经延时后自动断开,自备发电机组经 30s 启动后,仅向应急母线供电,实现首端切换目的,并保证消防用电设备的可

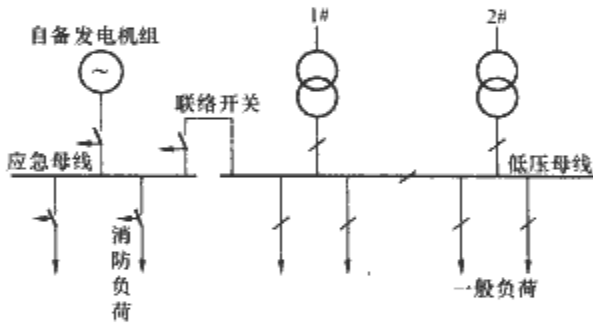


图 8.5-1 主电源与应急电源的前端切换方式示意

靠供电。这里联络开关引入延时的目的,是为了避免自备发电机组因瞬间的电压骤降而进行不必要的启动。

这种切换方式,正常时应急电网实际变成了主电源供电电网的一个组成部分。消防用电设备馈电线在正常情况下和应急时都由一条完成,节约导线且比较经济。但馈线一旦发生故障时,它所连接的消防用电设备则失去电源。另外,自备发电机容量,由于选择时是依消防泵等大电机的启动容量来定的,备用能力较大。应急时只能供应消防电梯、消防泵、事故照明等少量消防负荷,从而造成了柴油发电机组设备利用率低的情况。

(2) 电源末端切换

电源的末端切换是指引自应急母线和主电源低压母线的两条各自独立的馈线,在各自末端的事事故电源切换箱内实现切换,其切换图如图 8.5-2 所示。由于各馈线是独立的,从而提高了供电的可靠性,但其馈线比首端切换增加了一倍。

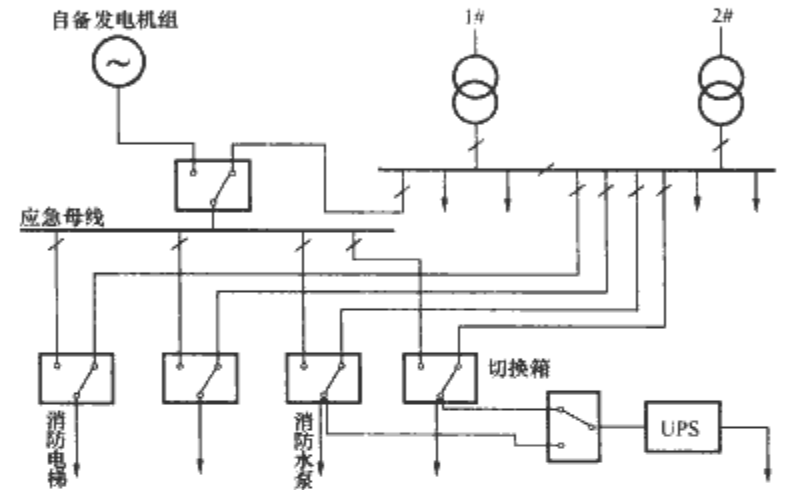


图 8.5-2 双电源的末端切换方式示意

必须指出,消防控制室、消防水泵、消防电梯、防烟排烟风机等的两个供电回路,应在最末一级配电箱处自动切换。消防设备的控制回路不得采用变频调速器作为控制装置。

## 第6章 火灾应急照明

### 1 设计要求

火灾应急照明包括：备用照明、疏散照明。其中，供消防作业及救援人员继续工作的场所，应设置备用照明；供人员疏散，并为消防人员撤离火灾现场的场所，应设置疏散指示标志灯和疏散通道照明。

1) 《建筑设计防火规范》(50016—2006)规定，除住宅外的民用建筑、厂房和丙类仓库的下列部位，应设置消防应急照明灯具：

①封闭楼梯间、防烟楼梯间及其前室、消防电梯间的前室或合用前室。

②消防控制室、消防水泵房、自备发电机房、配电室、防烟与排烟机房以及发生火灾时仍需正常工作的其他房间。

③观众厅、建筑面积大于400m<sup>2</sup>的展览厅、营业厅、多功能厅、餐厅，建筑面积大于200m<sup>2</sup>的演播室。

④建筑面积大于300m<sup>2</sup>的地下、半地下建筑或地下室、半地下室中的公共活动房间。

⑤公共建筑中的疏散走道。其中，公共建筑、高层厂房(仓库)及甲、乙、丙类厂房应沿疏散走道和在安全出口、人员密集场所的疏散门的正上方设置灯光疏散指示标志。

2) 《高层民用建筑设计防火规范》规定，高层建筑的下列部位应设置应急照明：

①楼梯间、防烟楼梯间前室、消防电梯间及其前室、合用前室和避难层(间)。

②配电室、消防控制室、消防水泵房、防烟排烟机房、供消防用电的蓄电池室、自备发电机房、电话总机房以及发生火灾时仍需坚持工作的其他房间。

③观众厅、展览厅、多功能厅、餐厅和商业营业厅等人员密集的场所。

④公共建筑内的疏散走道和居住建筑内走道长度超过20m的内走道。其中，除二类居住建筑外，高层建筑的疏散走道和安全出口处应设灯光疏散指示标志。

### 2 设置标准

#### (1) 火灾应急照明的设置

1) 应急照明在正常供电电源停止供电后，其应急电源供电转换时间应满足：

①备用照明应不大于5s，金融商业交易场所不应大于1.5s。

②疏散照明应不大于5s。

2) 除在假日、夜间无人工作而仅由值班或警卫人员负责管理外，疏散照明平时宜处于点亮状态。

当采用蓄电池作为疏散照明的备用电源时，在非点亮状态下，不能中断蓄电池的充电电源。

3) 首层疏散楼梯的安全出口标志灯，应安装在楼梯口的内侧上方。

疏散标志灯的设置位置，应符合图8.6-1的规定。当有障碍设计要求时，宜同时设有响指示信号。

4) 装设在地面上的疏散标志灯，应防止被重物或外力

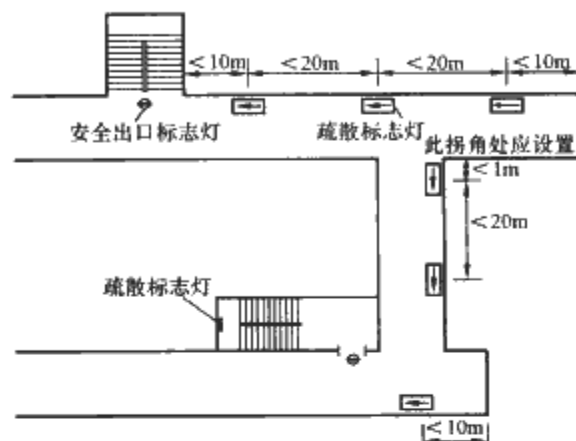


图 8.6-1 疏散标志灯设置原则示例

所损坏。

5) 疏散照明灯的设置，不应影响正常通行，不得在其周围存放有容易混同以及遮挡疏散标志灯的其他标志牌等。

#### (2) 火灾应急照明灯具的安装

备用照明灯具宜设置在墙面或顶棚上。安全出口和疏散门的正上方应采用“安全出口”作为指示标志，底边距地不宜低于2.0m。疏散走道的疏散指示标志灯具，宜设置在走道及其转角处离地面1.0m以下墙面上、柱上或地面上，且间距应不大于20m(人防工程不宜大于10m)；对于袋形走道，应不大于10m；在走道转角区，应不大于1.0m。当厅室面积较大，必须装设在天棚上时，灯具应明装，且距地不宜大于2.5m。

下列建筑或场所应在其内疏散走道和主要疏散路线的地面上增设能保持视觉连续的灯光疏散指示标志或蓄光疏散指示标志：

1) 总建筑面积超过8000m<sup>2</sup>的展览建筑。

2) 总建筑面积超过5000m<sup>2</sup>的地上商店。

3) 总建筑面积超过500m<sup>2</sup>的地下、半地下商店。

4) 歌舞娱乐放映游艺场所。

5) 座位数超过1500个的电影院、剧院，座位数超过3000个的体育馆、会堂或礼堂。

#### (3) 火灾应急照明的最少持续供电时间及最低照度

1) 公共建筑的疏散楼梯间、防烟楼梯间前室、疏散通道、消防电梯间及其前室、合用前室等一般平面疏散区域，疏散照明最少持续供电时间应大于或等于30min，地面最低水平照度应不低于0.5lx(人防工程为1lx)。

2) 疏散楼梯等竖向疏散区域，疏散照明最少持续供电时间应大于或等于30min，地面最低水平照度不应低于5lx。

3) 公共建筑中的观众厅、展览厅、多功能厅、餐厅、宴会厅、会议厅、候车(机)厅、营业厅、办公大厅和避难层(间)等人员密集场所，疏散照明最少持续供电时间应大于或等于30min，地面最低水平照度不应低于5lx。

4) 消防控制室、消防水泵房、电话总机房、自备发电机房、配电室、防烟与排烟机房以及发生火灾时仍需正常工作的其他房间的备用照明，最少持续供电时间应大于或等于180min，并应保证正常照明的照度。

5) 避难层及屋顶消防救护用直升机停机坪等场所, 其备用照明最少持续供电时间应大于或等于 60min, 并应保证正常照明的照度。

(4) 火灾应急照明灯具标准

建筑内设置的消防疏散指示标志和消防应急照明灯具, 还应符合现行国家标准《消防安全标志》(GB 13495—1992) 和《消防应急灯具》(GB 17945—2000) 的有关规定。

## 第7章 火灾应急广播

在高层建筑或大型民用建筑中,人员较集中又较多,火灾时影响面大,为了便于发生火灾时统一指挥疏散,控制中心报警系统应设置火灾应急广播,集中报警系统宜设置火灾应急广播。未设置火灾应急广播的火灾自动报警系统,应设置火灾警报装置。

### 1 火灾应急广播的设置要求

#### 1.1 火灾应急广播扬声器的设置要求

1) 火灾应急广播的扬声器宜按照防火分区设置和分路。民用建筑内扬声器应设置在走道和大厅等公共场所。每个扬声器的额定功率应不小于3W,其数量应能保证从一个防火分区内的任何部位到最近一个扬声器的距离不大于25m。走道内最后一个扬声器至走道末端的距离应不大于12.5m。

2) 在环境噪声大于60dB的场所设置的扬声器,在其播放范围内最远点的播放声压级应高于背景噪声15dB。

3) 客房设置专用扬声器时,其功率不宜小于1.0W。

#### 1.2 火灾应急广播与公共广播合用时的要求

火灾应急广播与公共广播合用时,广播系统应符合下列要求:

1) 火灾时应能在消防控制室将火灾疏散层的扬声器和公共广播扩音机强制转入火灾应急广播状态。

2) 消防控制室应能监控用于火灾应急广播时的扩音机的工作状态,并应具有遥控开启扩音机和采用传声器播音的功能。

3) 床头控制柜内设有服务性音乐广播扬声器时,应有火灾应急广播功能。

4) 应设置火灾应急广播备用扩音机,其容量不应小于火灾时需同时广播的范围内火灾应急广播扬声器最大容量总和的1.5倍。

因此,在建筑物内或已装有广播扬声器的建筑内设置火灾应急广播时,要求原有广播系统具备火灾应急广播功能,其控制切换方式有:

1) 火灾应急广播系统仅利用公共广播系统的扬声器和传输线路,而火灾应急广播系统的扩音机等装置是专用的。当火灾发生时,由消防控制室切换输出线路,使公共广播系统按照规定的疏散广播顺序的相应层次播送火灾应急广播。

2) 火灾应急广播系统全部利用公共广播系统的扩音机、扬声器和传输线路等装置,在消防控制室只设紧急播送装置,当发生火灾时可遥控公共广播系统紧急开启,强制投入火灾应急广播。

以上二种控制方式,都应使扬声器不管处于何种工作状态,都应能紧急切换到火灾事故广播线路上。特别应注意在扬声器设有开关或音量调节器的公共广播系统中的紧急广播方式,应将扬声器用继电器强制切换到火灾应急广播线路上。与公共广播系统合用的火灾应急广播系统,若广播扩音机装置不是装在消防控制室内,不论采用哪种遥控播音方式,都应能使消防控制室用话筒直接播音和扩音机的开、

关,自动或手动控制相应分区,播送火灾应急广播,并且扩音机的工作状态应能在消防控制室进行监视。

一般地,火灾应急广播的线路需要单独敷设,并应有耐热保护措施,当某一路的扬声器或配线短路、开路时,应仅使该路广播中断而不影响其他各路广播。

### 2 火灾应急广播系统

#### 2.1 火灾应急广播播放控制

发生火灾时,为了便于疏散和减少不必要的混乱,火灾应急广播发出警报时不能采用整个建筑物全部开启的方式,而应该仅向着火层及与其相关楼层进行广播。

二层及以上的楼层发生火灾,应先接通着火层及其相邻的上、下层;

首层发生火灾,应先接通本层、二层及地下各层;

地下室发生火灾,应先接通地下各层及首层;

含多个防火分区的单层建筑,应先接通着火的防火分区及其相邻的防火分区。

在设置火灾应急广播的建筑物内,应同时设置火灾警报装置,并应采用分时播放控制:先鸣警8~16s;间隔2~3s后播放应急广播20~40s;再间隔2~3s依次循环直至疏散结束。根据需要,可在疏散期间手动停止。

#### 2.2 火灾应急广播扬声器的设置数量

设置火灾应急广播扬声器数量应能保证从一个防火分区内的任何部位到最近一个扬声器的距离不大于25m。当大厅中的扬声器按正方形布置时,其间距可按下式计算

$$S = \sqrt{2}R$$

式中,  $S$  为两个扬声器的间距, m;  $R$  为扬声器的播放半径, m。

走道内扬声器的布置应满足三个方面的要求:一是扬声器至走道末端的距离应不大于12.5m;二是扬声器的间距应不超过50m;三是在转弯处应设置扬声器。

#### 2.3 火灾应急广播系统的分类

火灾应急广播系统的构成有多线制和总线制两种。

1) 多线制火灾应急广播系统由节目音源、播音话筒、功率放大器、扬声器、多线制广播分配盘等组成。系统输出的广播线路按广播分区来设计,每一广播分区有两根独立的广播线路与现场播音设备连接,各广播分区的切换控制由消防控制室专用的多线制火灾应急广播分配盘来完成。通过多线制火灾应急广播分配盘,可完成手动对各广播分区进行正常或火灾应急广播的切换。若多线制火灾应急广播系统有  $N$  个防火(或广播)分区,则需敷设  $2N$  条广播线路,所以工程施工难度大,线路造价较高,目前在实际应用中已较少采用。其系统构成如图8.7-1所示。

2) 总线制火灾应急广播系统由节目音源、播音话筒、功率放大器、扬声器及专用广播模块等组成。系统输出的广



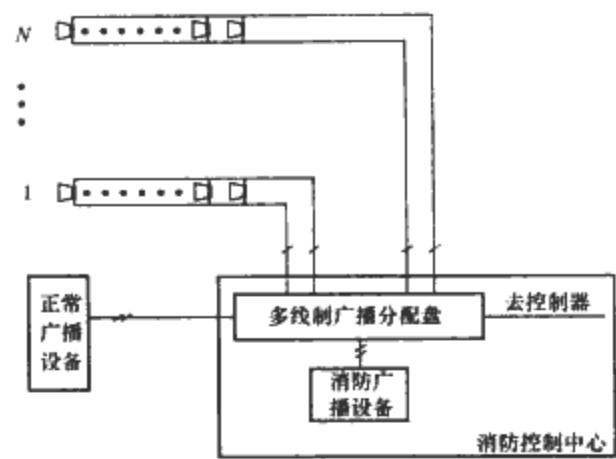


图 8.7-1 多线制火灾应急广播系统框图

播线路为两根独立的广播总线，各广播分区的切换控制由消防控制室输出强切信号至对应分区的广播模块来完成。该系

统设计灵活，施工也较简单，但各分区增加广播模块，目前在实际应用中相对广泛。其系统构成如图 8.7-2 所示。

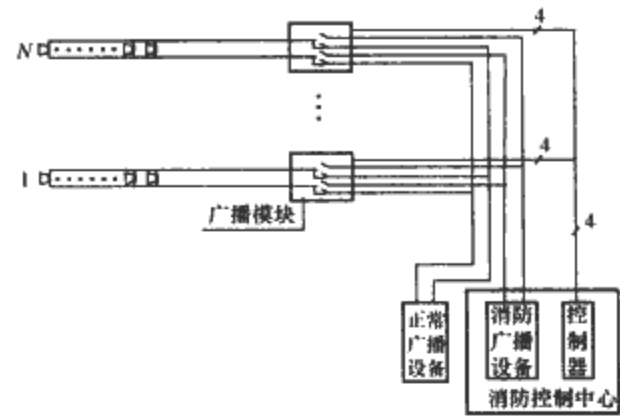


图 8.7-2 总线制火灾应急广播系统框图

## 第8章 消防联动控制的设计

消防联动控制是指系统接收火灾报警后,对相关的警报装置、消防水泵、防排烟风机、电梯、非消防电源及应急照明等设备或设施按设定的控制逻辑发出联动控制信号并接收相关设备动作后的反馈信号的统称。

消防联动控制系统由消防联动控制器、模块、消防电气控制装置、消防电动装置等消防设备组成,完成消防联动控制功能;并能接收和显示消防应急广播系统、消防应急照明和疏散指示系统、防烟排烟系统、防火门及卷帘系统、消火栓系统、各类灭火系统、消防通信系统、电梯等消防系统或设备的动态信息。消防控制设备的控制方式应根据建筑的形式、工程规模、管理体制及功能要求综合确定,大型建筑或建筑群宜采用分散与集中相结合控制方式。

消防联动控制器的电压控制输出应采用直流24V。各受控设备接口的特性参数应与消防联动控制器发出的联动控制信号的特性参数相匹配。消防水泵、防烟和排烟风机的控制设备除采用自动控制方式外,还应在消防控制室设置手动直接控制装置实现手动控制。

一般地,火灾探测器发出火灾报警信号认为火灾发生;同一防火区域,两个或两组探测器同时发出火灾报警信号为火灾确认。当有一个或一组火灾探测器发出火灾报警信号后,有消防控制室的值班人员应立即赶到现场进行人工确认。

### 1 消防控制室

#### 1.1 消防控制室的设计

《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)第10.3.3条规定:设有火灾自动报警装置和自动灭火装置的建筑宜设消防控制室。

《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—1995)第9.4.5条规定:设有火灾自动报警系统和自动灭火系统或设有火灾自动报警系统和机械防排烟设施的高层建筑,应按现行的国家标准《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998)的要求设置消防控制室。

《人民防空工程设计防火规范》(GB 50098—1998)第7.4.3条规定:设有火灾自动报警装置和固定灭火设备或机械防烟、排烟设备的人防工程应设置消防控制室。同时还规定:消防控制室可与地面建筑的消防控制室或人防工程的值班室、通信机房、配电室等房间合用。

《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》(GB 50067—1997)第9.0.7条规定:除敞开式汽车库以外的I类汽车库、II类地下汽车库和高层汽车库以及机械式立体汽车库、复式汽车库、采用升降梯作汽车疏散出口的汽车库,应设置火灾自动报警系统。第9.0.9条规定:设有火灾自动报警系统和自动灭火系统的汽车库、修车库应设置消防控制室,消防控制室宜独立设置,也可与其他控制室、值班室组合设置。

消防控制室应至少由火灾报警控制器、消防联动控制器、消防控制室图形显示装置或其组合设备组成;应能监控消防系统及相关设备(设施),显示相应设备(设施)的动

态信息和消防管理信息,向远程监控中心传输火灾报警及其他相应信息。

消防系统及其相关设备(设施)应包括火灾探测报警、消防联动控制、消火栓、自动灭火、防烟排烟、通风空调、防火门及防火卷帘、消防应急照明和疏散指示、消防应急广播、消防设备电源、消防电话、电梯、可燃气体探测报警、电气火灾监控等全部或部分系统或设备(设施)。

建筑或建筑群具有二个及以上消防控制室时,应符合下列要求:

- 1) 上一级的消防控制室应能显示下一级的消防控制室的各类系统的相关状态。
- 2) 上一级的消防控制室可对下一级的消防控制室进行控制。
- 3) 下一级的消防控制室应能将所控制的各类系统相关状态和信息传输到上一级的消防控制室。
- 4) 相同级别的消防控制室之间可以互相传输、显示状态信息,不应互相控制。

消防控制室应有相应的竣工图纸、各分系统控制逻辑关系说明、设备使用说明书、系统操作规程、应急预案、值班制度、维护保养制度及值班记录等。

消防控制室的门应向疏散方向开启,且入口处应设置明显的标志。同时,消防控制室内严禁与其无关的电气线路及管路穿过,其周围不应布置电磁场干扰较强及其他影响消防控制设备工作的设备用房。消防控制室的室内净高不宜低于2.5m。

消防控制室内设备的布置应符合下列要求:

- 1) 设备面盘前的操作距离:单列布置时应不小于1.5m;双列布置时应不小于2m。
- 2) 在值班人员经常工作的一面,设备面盘至墙的距离应不小于3m。
- 3) 设备面盘后的维修距离不宜小于1m。
- 4) 设备面盘的排列长度大于4m时,其两端应设置宽度不小于1m的通道。
- 5) 集中火灾报警控制器或火灾报警控制器安装在墙上时,其底边距地面高度宜为1.3~1.5m,其靠近门轴的侧面距墙应不小于0.5m,正面操作距离应不小于1.2m。

#### 1.2 消防控制室的控制和显示要求

1) 消防控制室应能显示建(构)筑物的总平面布局图、建筑消防设施平面布置图、建筑消防系统图及安全出口布置图、重点部位位置图等,并应符合下列要求:

①消防控制室应能用同一界面显示周边消防车道、消防登高车操作场地、消防水源位置以及相邻建筑间距、楼层、使用性质等情况。

②消防控制室应能显示火灾自动报警和联动控制系统及其控制的各类消防设备(设施)的名称、物理位置和各消防设备(设施)的动态信息。

2) 显示应至少采用中文标注和中文界面,界面不小于17in(1in=2.54cm)。

3) 当有火灾报警信号、监管报警信号、反馈信号、屏蔽信号、故障信号输入时,消防控制室应有相应状态的专用总指示,显示相应部位对应总平面布局图中的建筑位置、建筑平面图,在建筑平面图上指示相应部位的物理位置,记录时间和部位等信息。火灾报警信号专用总指示不受消防控制室设备复位操作以外的任何操作的影响。

4) 消防控制室在火灾报警信号、反馈信号输入10s内显示相应状态信息,其他信号输入100s内显示相应状态信息。

5) 消防控制室对火灾探测报警系统的控制和显示应满足下列要求:

①显示保护区域内火灾报警控制器、火灾探测器、火灾显示盘、手动火灾报警按钮的工作状态,包括火灾报警状态、屏蔽状态、故障状态及正常监视状态等相关信息。

②显示消防水箱(池)水位、管网压力等监管报警信息。

③控制火灾声和/或光警报器的工作状态。

④显示可燃气体探测报警系统、电气火灾监控系统的报警信号及相关的联动反馈信息。

6) 消防控制室应能显示保护区域内消防联动控制器、模块、消防电气控制装置、消防电动装置等消防设备的动态信息(包括正常工作状态、联动控制状态、屏蔽状态、故障状态)。

7) 消防控制室应能显示并查询保护区域内消防电话、电梯、传输设备、消防应急广播系统、自动喷水灭火系统、消火栓系统、气体灭火系统、水喷雾灭火系统、泡沫和干粉灭火系统、防烟排烟系统、防火门及卷帘系统、消防应急照明和疏散指示系统等消防设备或系统的动态信息。

8) 消防控制室应能控制保护区域内气体灭火控制器、消防电气控制装置、消防设备应急电源、消防应急广播设备、消防电话、传输设备、消防电动装置等消防设备的控制输出,并显示反馈信号。

9) 消防控制室应能控制保护区域内消防电气控制装置、消防电动装置所控制的电气设备、电动门窗等,并显示反馈信号。

10) 消防控制室对自动喷水灭火系统的控制和显示应满足下列要求:

①显示喷淋消防泵电源的工作状态。

②显示系统的喷淋消防泵的起、停状态和故障状态,显示水流指示器、信号阀、报警阀、压力开关等设备的正常工作状态、动作状态等信息。

③自动和手动控制喷淋消防泵的起、停,并能接收和显示喷淋消防泵的反馈信号。

11) 消防控制室对消火栓系统的控制和显示应满足下列要求:

①显示消防水泵电源的工作状态。

②显示系统的消防水泵的起、停状态和故障状态,并能显示消火栓按钮的工作状态、物理位置、消防水箱(池)水位、管网压力报警等信息。

③自动和手动控制消防水泵的起、停,并能接收和显示消防水泵的反馈信号。

12) 消防控制室对气体灭火系统的控制和显示应满足下列要求:

①显示系统的手动、自动工作状态及故障状态。

②显示系统的阀驱动装置的正常状态和动作状态,并能显示防护区域中的防火门窗、防火阀、通风空调等设备的正常工作状态和动作状态。

③自动和手动控制系统的启动和停止,并显示延时状态

信号、压力反馈信号和停止信号,显示喷洒各阶段的动作状态。

13) 消防控制室对水喷雾系统的控制和显示应满足下列要求:

①采用泵启动方式的水喷雾系统应符合本节第10)的要求。

②采用压力容器启动方式的水喷雾系统应符合本节第12)的要求。

14) 消防控制室对泡沫灭火系统的控制和显示应满足下列要求:

①显示消防水泵、泡沫液泵电源的工作状态。

②显示系统的手动、自动工作状态及故障状态。

③显示消防水泵、泡沫液泵、管网电磁阀的正常工作状态和动作状态。

④自动和手动控制消防水泵、泡沫液泵,手动控制停泵,并接收和显示动作反馈信号。

15) 消防控制室对干粉灭火系统的控制和显示应满足下列要求:

①显示系统的手动、自动工作状态及故障状态。

②显示系统的阀驱动装置的正常状态和动作状态,并能显示防护区域中的防火门窗、防火阀、通风空调等设备的正常工作状态和动作状态。

③显示干粉气瓶组的压力报警信号。

④自动和手动控制系统的启动和停止,并显示延时状态信号、压力反馈信号和停止信号,显示喷洒各阶段的动作状态。

16) 消防控制室对防烟排烟系统的控制和显示应满足下列要求:

①显示防烟排烟风机电源的工作状态。

②显示系统的手动、自动工作状态及系统内的防烟排烟风机、排烟防火阀、常闭送风口、常闭排烟口的动作状态。

③控制系统的启、停及系统内的防烟排烟风机、常闭送风口、常闭排烟口和消防电动装置所控制的电动防火阀、电动排烟防火阀、电控挡烟垂壁的开与关,并显示其反馈信号。

④停止相关部位正常通风的空调,并接收和显示通风系统内防火阀关闭的反馈信号。

17) 消防控制室对防火门及卷帘系统的控制和显示应满足下列要求:

①显示防火卷帘控制器、防火门监控器的工作状态和故障状态等动态信息。

②显示防火卷帘和用于公共疏散的各类防火门工作状态的动态信息。

③关闭防火卷帘和常开防火门,并能接收和显示其反馈信号。

18) 消防控制室对电梯的控制和显示应满足下列要求:

①控制所有电梯全部回降至首层开门停用,其中消防电梯开门待用,并能在发生火灾时显示电梯所在楼层。

②显示所有电梯的故障状态和停用状态。

19) 消防控制室对消防电话的控制和显示应满足下列要求:

①与各消防电话分机通话,并具有插入通话功能。

②接收来自消防电话插孔的呼叫,并能通话。

③有消防电话通话录音功能。

④显示消防电话的故障状态。

20) 消防控制室对消防应急广播系统的控制和显示应满

足下列要求：

- ①显示处于应急广播状态的广播分区、预设广播信息。
  - ②分别通过手动和按照预设控制逻辑自动控制选择广播分区、启动或停止应急广播，并在扬声器进行应急广播时自动对广播内容进行录音。
  - ③显示应急广播的故障状态。
- 21) 消防控制室对消防应急照明和疏散指示标志系统的控制和显示应满足下列要求：
- ①手动控制自带电源型消防应急照明和疏散指示系统的主电工作状态和应急工作状态。
  - ②分别通过手动和自动控制集中电源型消防应急照明和疏散指示系统和集中控制型消防应急照明和疏散指示系统从主电工作状态切换到应急工作状态。
  - ③显示消防应急照明和疏散指示系统的故障状态和应急工作状态。
- 22) 消防控制室应能显示系统内各消防设备的供电电源（包括交流和直流电源）和备用电源工作状态。

1.3 消防控制室的信息记录要求

- 1) 应具有各类消防系统及设备（设施）在火灾发生时和日常检查时的动态信息记录，记录应包括火灾报警的时间

- 和部位、设备动作的时间和部位、复位操作的时间等信息，存储记录容量应不少于 10 000 条，记录备份后方可被覆盖。日常检查的内容应符合国家相关标准要求。
- 2) 应具有产品维护保养的内容和时间、系统程序的进入和退出时间、操作人员姓名或代码等内容的记录，存储记录容量应不少于 10 000 条，记录备份后方可被覆盖。
- 3) 应具有保护区中监控对象系统内各个消防设备（设施）的制造商、产品有效期的历史记录功能，存储记录容量应不少于 1000 条，记录备份后方可被覆盖。
- 4) 应具有接受远程查询历史记录的功能。
- 5) 应具有记录打印或刻录存盘功能，对历史记录应打印存档或刻录存盘归档。

1.4 消防控制室的信息传输要求

- 1) 消防控制室在接收到系统的火灾报警信号后 10s 内将报警信息按规定的通信协议格式传送给监控中心。
- 2) 消防控制室在接收到建筑消防设施运行状态信息后 100s 内将相应信息按规定的通信协议格式传送给监控中心。
- 3) 消防控制室应能接收监控中心的查询指令并能按规定的通信协议格式按表 8.8-1 规定的内容将相应信息传送到监控中心。

表 8.8-1 消防控制室信息传输通信协议格式

设 施 名 称		内 容
火灾探测报警系统		火灾报警信息、可燃气体探测报警信息、电气火灾监控报警信息、屏蔽信息、故障信息
消 防 联 动 控 制 系 统	消防联动控制器	动作状态、屏蔽信息、故障信息
	消火栓系统	消防水泵电源的工作状态，消防水泵的起、停状态和故障状态，消防水箱（池）水位、管网压力报警信息
	自动喷水灭火系统、水喷雾灭火系统（泵启动方式）	喷淋消防泵电源工作状态、起停状态、故障状态，水流指示器、信号阀、报警阀、压力开关的正常状态、动作状态
	气体灭火系统、水喷雾灭火系统（压力容器启动方式）	系统的手动、自动工作状态及故障状态，阀驱动装置的正常状态和动作状态，防护区域中的防火门窗、防火阀、通风空调等设备的正常工作状态和动作状态，系统的启动和停止信息、延时状态信号、压力反馈信号，喷洒各阶段的动作状态
	泡沫灭火系统	消防水泵、泡沫液泵电源的工作状态，系统的手动、自动工作状态及故障状态，消防水泵、泡沫液泵、管网电磁阀的正常工作状态和动作状态
	干粉灭火系统	系统的手动、自动工作状态及故障状态，阀驱动装置的正常状态和动作状态，延时状态信号、压力反馈信号，喷洒各阶段的动作状态
	防烟排烟系统	系统的手动、自动工作状态，防烟排烟风机、排烟防火阀、常闭送风口、常闭排烟口、电动防火阀、电控挡烟垂壁的动作状态
	防火门及卷帘系统	防火卷帘控制器、防火门监控器的工作状态和故障状态，防火卷帘和用于公共疏散的各类防火门的工作状态等动态信息
	消防电梯	消防电梯的停用和故障状态
	消防应急广播	消防应急广播的启动、停止和故障状态
消防应急照明和疏散指示系统		消防应急照明和疏散指示系统的故障状态和应急工作状态信息
消防电源		系统内各消防设备的供电电源（包括交流和直流电源）和备用电源工作状态信息

- 4) 消防控制室应有专用的信息传输指示灯，在处理和传输信息时，该指示灯应闪亮，在得到监控中心的正确接收确认后，该指示灯应常亮并保持直至该状态复位。当信息传送失败时应有明确声、光指示。

2 自动喷水灭火系统的联动控制设计

- 1) 湿式系统的联动控制设计，应符合下列规定：

- ①自动控制方式，应由湿式报警阀压力开关的动作信号作为系统的联动触发信号，由消防联动控制器联动控制喷淋消防泵的启动。
- ②手动控制方式，应将喷淋消防泵控制箱的启动、停止触点直接引至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘，实现喷淋消防泵的直接手动启动、停止。
- ③喷淋消防泵控制箱接触器辅助接点的动作信号或干管

水流开关动作信号作为系统的联动反馈信号,应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

2) 干式系统的联动控制设计,应符合下列规定:

①自动控制方式,应由干式报警阀压力开关的动作信号作为系统的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制喷淋消防泵的启动。

②系统的直接手动控制和联动反馈信号的设计,应符合本节湿式系统第②、③条要求。

3) 预作用系统的联动控制设计,应符合下列规定:

①自动控制方式,应由同一报警区域内两个及以上独立的火灾探测器或一个火灾探测器及一个手动报警按钮的报警信号,作为雨淋阀开启的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制雨淋阀的开启,雨淋阀的动作信号应反馈给消防控制室,并在消防联动控制器上显示;雨淋阀(或其后面的湿式报警阀的压力开关)的动作信号作为喷淋消防泵启动的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制喷淋消防泵的启动。

②手动控制方式,应将喷淋消防泵控制箱和雨淋阀的启动、停止触点直接引至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,实现喷淋消防泵和雨淋阀的直接手动启动、停止。

③喷淋消防泵控制箱接触器辅助接点的动作信号或干管水流开关动作信号作为喷淋消防泵的联动反馈信号应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

4) 雨淋系统、水喷雾系统及泡沫系统的联动控制设计,应符合下列规定:

①自动控制方式,应由同一防护区域内两个及以上独立的火灾探测器或一个火灾探测器和一个手动报警按钮等设备的报警信号作为雨淋阀开启的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制该防护区域的雨淋阀、雨淋消防泵或泡沫消防泵的启动,且雨淋阀的开启不应先于雨淋消防泵的启动。

②手动控制方式,应将选择阀和雨淋消防泵或泡沫消防泵控制箱的启动、停止触点直接引至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,实现选择阀和雨淋泵或泡沫泵控制箱的直接手动启动、停止,且雨淋阀的开启不应先于雨淋消防泵的启动。

③雨淋消防泵或泡沫消防泵控制箱接触器辅助接点的动作信号作为系统的联动反馈信号应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

5) 自动控制的水幕系统的联动控制设计,应符合下列规定:

①自动控制方式,当自动控制的水幕系统用于防火卷帘的保护时应由防火卷帘到底信号和本探测区域内的火灾报警信号作为水幕电磁阀的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制水幕电磁阀的启动;水幕电磁阀的动作信号作为水幕消防泵启动的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制水幕消防泵的启动;仅用水幕作为防火分隔时,应用该探测区内两只感温火灾探测器的火灾报警信号作为水幕消防泵启动的触发信号。

②手动控制方式,应将水幕电磁阀和水幕泵控制箱的启动、停止触点直接引至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,实现水幕电磁阀和水幕消防泵的直接手动启动、停止。

③水幕消防泵控制箱接触器辅助接点的动作信号作为系统的联动反馈信号,应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

### 3 消火栓系统的联动控制设计

1) 自动控制方式,应由消火栓按钮的动作信号作为系统的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制消火栓消防泵的启动。

2) 手动控制方式,应将消火栓消防泵控制箱的启动、停止触点直接引至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,实现消火栓消防泵的直接手动启动、停止。

3) 消火栓干管水流开关的动作信号或消火栓消防泵控制箱接触器辅助接点的动作信号作为系统的联动反馈信号,应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

4) 在未设置火灾自动报警系统的保护对象中,消火栓按钮的动作信号应直接联动启动消火栓消防泵。消火栓消防泵启动的联动反馈信号应在动作的消火栓按钮上显示。

### 4 气体(泡沫)灭火系统的联动控制设计

1) 气体(泡沫)灭火系统应由专用的气体(泡沫)灭火控制器控制。

2) 具有气体(泡沫)灭火功能的火灾报警控制器联动控制设计,其自动控制方式应符合下列规定:

①应由同一防护区域内相邻的两个及以上独立的火灾探测器或一个火灾探测器及一个手动报警按钮的报警信号,作为系统的联动触发信号,探测器的组合宜采用感烟火灾探测器和感温火灾探测器。

②具有气体(泡沫)灭火功能的火灾报警控制器在接收到满足联动逻辑关系的首个触发信号(任一防护区域内设置的感烟火灾探测器、其他类型探测器或手动报警按钮的首次报警信号)后,应启动设置在该防护区内的火灾声、光警报器;在接收到第二个触发信号(同一防护区域内与首次报警的火灾探测器或手动报警按钮相邻的感温火灾探测器或手动报警按钮的报警信号)后,应发出联动控制信号。

③联动信号内容包括:关闭防护区域的防、排风机及送排风阀门;停止通风和空气调节系统及关闭设置在该防护区域的电动防火阀;联动控制防护区域开口封闭装置的启动,包括关闭防护区域的门、窗;启动气体(泡沫)灭火装置,根据人员安全撤离防护区的需要,气体(泡沫)灭火控制器可设定不大于30s的延迟喷射时间;对于平时无人工作的防护区,可设置为无延迟的喷射;启动气体(泡沫)灭火装置,同时启动设置在防护区的入口处的灭火剂喷放指示灯;组合分配系统应首先开启相应防护区域的选择阀或启动瓶,然后启动气体(泡沫)灭火装置。

3) 具有气体(泡沫)灭火系统联动控制设计的手动控制方式应符合下列规定:

①在防护区疏散出口的门外应设置气体(泡沫)灭火装置的手动启动和停止按钮,手动启动按钮按下时,火灾报警控制器应执行本节第2)条第③款规定的联动操作;手动停止按钮按下时,气体(泡沫)灭火控制器应停止正在执行的联动操作。

②火灾报警控制器上应设置对应于不同防护区的手动启动和停止按钮,手动启动按钮按下时,火灾报警控制器应执行本节第2)条第③款规定的联动操作;手动停止按钮按下时,气体(泡沫)灭火控制器应停止正在执行的联动操作。

4) 由气体(泡沫)灭火控制器(不自带火灾探测器)控制的气体(泡沫)灭火系统的联动控制设计,采用自动控制方式时应符合下列规定:

①系统的联动触发信号应由设置在该防护区内的火灾探



测器发出火灾报警信号后,由火灾报警控制器或消防联动控制器发出,系统的联动触发信号的组成应满足本节第2)条的要求。

②气体(泡沫)灭火控制器需接收火灾报警控制器的火灾报警信号才能完成灭火控制时,应能设定满足本节第2)条要求的联动逻辑,且在逻辑关系满足时执行本节第2)条要求的联动操作。

③气体(泡沫)灭火控制器需接收消防联动控制器的触发信号才能完成灭火控制时,消防联动控制器应能设定满足本节第2)条要求的联动逻辑,并分两步将联动信息发给气体(泡沫)灭火控制器,气体(泡沫)灭火控制器按本节第2)条的要求执行相应的联动操作。

5) 气体(泡沫)灭火控制器应将气体(泡沫)灭火装置启动及气体喷放各阶段的联动控制及反馈信号传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。系统的反馈信号主要包括:

①自带的火灾探测器的气体(泡沫)灭火系统火灾探测器的报警信号。

②选择阀动作的反馈信号。

③压力开关的反馈信号。

6) 在防护区域内设有手动与自动控制的转换装置的系统,其手动或自动控制方式的工作状态应在设置在防护区内、外的手动、自动控制状态显示装置上显示,并该状态信号应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

## 5 防烟排烟系统的联动控制设计

1) 防烟系统的联动控制应符合下列规定:

①应由加压送风口所在防火分区内设置的感烟探测器的报警信号作为送风口开启的联动触发信号,并根据加压送风系统的设计要求,由消防联动控制器联动控制火灾层和相关层前室送风口的开启。

②同一防火分区内两个独立的火灾探测器或一个火灾探测器和一个手动报警按钮的报警信号作为加压送风机启动的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制加压送风机启动。

③应由电动挡烟垂壁附近的感烟探测器的报警信号作为电动挡烟垂壁降落的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制电动挡烟垂壁的降落。

2) 排烟系统的自动控制方式应符合下列规定:

①应由同一防烟分区内两个及以上独立的火灾探测器或一个火灾探测器及一个手动报警按钮等设备的报警信号,作为排烟口或排烟阀的开启的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制排烟口或排烟阀的开启同时停止该防烟分区的空气调节系统。

②排烟口或排烟阀开启的动作信号作为排烟风机启动的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制排烟风机的启动。

3) 防排烟系统的手动控制方式,应将防烟、排烟风机的启动、停止触点直接引至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,实现防烟、排烟风机的直接手动启动、停止。

4) 排烟口或排烟阀开启和关闭的反馈信号以及防烟、排烟风机启动和停止的反馈信号、电动防火阀关闭的反馈信号作为系统的联动反馈信号,应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

5) 排烟风机房入口处的排烟防火阀在 $280^{\circ}\text{C}$ 自熔关闭

后直接联动控制风机停止,排烟防火阀及风机的动作信号应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

## 6 防火门及卷帘系统的联动控制设计

1) 防火门系统的联动控制设计,应符合下列规定:

①疏散通道上设置的电动防火门,应由设置在防火门任一侧的火灾探测器的报警信号,作为系统的联动触发信号,联动控制防火门的关闭。

②防火门开启及关闭的工作状态信号应传至消防控制室。

2) 防火卷帘的升降应由防火卷帘控制器控制。

3) 防火卷帘控制器自带火灾探测器的防火卷帘系统的联动控制设计,应符合下列规定:

①疏散通道上设置的防火卷帘,其自动控制方式,应由设置在防火卷帘两侧中任一组感烟和感温火灾探测器的报警信号,作为系统的联动触发信号,联动控制防火卷帘的下降。

②感烟火灾探测器的报警信号联动控制防火卷帘下降至距地(楼)面 $1.8\text{m}$ 处停止。

③感温火灾探测器的报警信号联动控制防火卷帘下降到底。

④疏散通道上设置的防火卷帘,其手动控制方式,应由在防火卷帘两侧设置的手动控制按钮,实现手动控制防火卷帘的升降。

⑤仅用作防火分隔的防火卷帘,其自动控制方式,应由设置在防火卷帘任一侧的火灾探测器的报警信号,作为系统的联动触发信号,由防火卷帘控制器联动控制防火卷帘的下降。防火卷帘任一侧的火灾探测器的报警信号,联动控制防火卷帘一次下降到底。

⑥防火卷帘的动作信号作为系统的联动反馈信号应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

⑦具有控制防火卷帘功能的火灾报警控制器应将其所带的感烟、感温火灾探测器的报警信号传至消防控制室。

4) 疏散通道上设置的防火卷帘,其自动控制方式的设计应符合下列要求:

①系统的联动触发信号应由火灾自动报警器或消防联动控制器发出,系统的联动触发信号的组成应满足本节第3)条要求。

②火灾自动报警器通过系统组网等方式向防火卷帘控制器发送报警信息时,防火卷帘控制器应能设定满足本节第3)条要求的联动逻辑,并在逻辑关系满足时执行本节第3)条要求的联动操作。

③防火卷帘控制器接收消防联动控制器发出的联动控制信息时,消防联动控制器应能设定满足本节第3)条要求的联动逻辑,分两步将联动信息发给防火卷帘控制器,防火卷帘控制器按本节第3)条要求执行相应的联动操作。

④疏散通道上设置的防火卷帘,其手动控制方式的设计应符合本节第3)条要求。

5) 仅用作防火分隔的防火卷帘,其自动控制方式的设计应符合下列要求:

①系统的联动触发信号应由设置在该报警区域内的火灾自动报警器或消防联动控制器发出,系统的联动触发信号的组成应满足本节第3)条要求。

②火灾自动报警器通过系统组网等方式向防火卷帘控制器发送报警信息时,防火卷帘控制器应能设定满足本节第3)条要求的联动逻辑,并在逻辑关系满足时执行本节第3)



条要求的联动操作。

③防火卷帘控制器接收消防联动控制器发出的联动控制信息时,消防联动控制器应能设定满足本节第3)条要求的联动逻辑,将联动信息发给防火卷帘控制器,防火卷帘控制器按本节第3)条要求执行相应的联动操作。

④防火卷帘的动作信号作为系统的联动反馈信号应传至消防控制室,并在消防联动控制器上显示。

## 7 电梯的联动控制设计

消防电梯是高层建筑中必需的消防设施。高层建筑发生火灾时,要求消防人员通过消防电梯迅速到达高层起火部位,去扑救火灾和救援遇难人员。

高度超过32m的设有电梯的厂房,每个防火分区内应设一台消防电梯(可与客、货梯兼用)。

高度超过32m的设有电梯的塔架,当每层工作平台人数不超过2人时,可不设消防电梯。

丁、戊类厂房,当局部建筑高度超过32m且局部升起部分的每层建筑面积不超过50m<sup>2</sup>时,可不设消防电梯。

高度超过32m的高层库房应设消防电梯。设在库房连廊、冷库穿堂或谷物筒仓工作塔内的消防电梯,可不设前室。

下列高层建筑应设消防电梯:

- 1) 一类公共建筑。
- 2) 塔式住宅。
- 3) 12层及12层以上的单元式住宅和通廊式住宅。
- 4) 高度超过32m的其他二类公共建筑。
- 5) 消防电梯可与客梯或工作电梯兼用,但应符合消防电梯的要求。

消防电梯宜分别设在不同的防火分区内。消防电梯的设置应符合下列要求:

1) 消防电梯间应设前室,其面积:居住建筑应不小于4.50m<sup>2</sup>,公共建筑应不小于6.00m<sup>2</sup>。当与防烟楼梯间合用前室时,其面积:居住建筑电梯应不小于6.00m<sup>2</sup>,公共建筑应不小于10m<sup>2</sup>。

2) 消防电梯间前室宜靠外墙设置,在首层应设直通室外的出口或经过长度不超过30m的通道通向室外。

3) 消防电梯间前室的门,应采用乙级防火门或具有停滞功能的防火卷帘。

4) 消防电梯的载重量应不小于800kg。

5) 消防电梯井、机房与相邻其他电梯井、机房之间,应采用耐火极限不低于2.00h的隔墙隔开,当在隔墙上开门时,应设甲级防火门。

6) 消防电梯的行驶速度,应按从首层到顶层的运行时间不超过60s计算确定。

7) 消防电梯轿厢的内装修应采用不燃烧材料。

8) 消防电梯轿厢内应设专用电话,并应在首层设供消防队员专用的操纵按钮。

9) 消防电梯间前室门口宜设挡水设施。消防电梯井底应设排水设施,排水井容量应不小于2.00m<sup>3</sup>,排水泵排水量应不小于10L/s。

10) 动力与控制电缆、电线应采取防水措施。

消防电梯及客梯的迫降的联动控制信号应由消防联动控制器发出。当确认火灾后,消防联动控制系统应发出联动控

制信号强制所有电梯停于首层或电梯转换层。除消防电梯外,其他电梯的电源应切断。电梯停于首层或电梯转换层开门后的反馈信号作为电梯电源切断的触发信号。

消防控制室应显示消防电梯及客梯运行状态,并接收和显示其停于首层或转换层的反馈信号。

## 8 火灾警报和应急广播系统的联动控制设计

1) 应急广播系统的联动控制信号应由消防联动控制器发出。当确认火灾后,应急广播系统首先向全楼或建筑(高、中、低)分区的火灾区域发出火灾警报,然后向着火层和相邻层进行应急广播,再依次向其他非火灾区域广播;3min内应能完成对全楼的应急广播。

2) 消防控制室应显示处于应急广播状态的广播分区和预设广播信息。

3) 消防控制室应手动或按照预设控制逻辑自动控制选择广播分区,起动或停止应急广播系统。并在传声器进行应急广播时,自动对广播内容进行录音。

## 9 消防应急照明和疏散指示标志系统的联动控制设计

1) 消防应急照明和疏散指示标志系统联动控制的设计,应符合下列要求:

①集中控制型消防应急照明系统的联动应由消防联动控制器联动应急照明控制器实现。

②集中电源型消防应急照明系统的联动应由消防联动控制器联动应急照明集中电源和应急照明分配电装置实现。

③独立控制型消防应急照明系统的联动应由消防联动控制器联动消防应急照明配电箱实现。

④对消防应急照明系统工作状态的联动控制应保证消防应急照明系统在发生火灾时点亮所有消防应急灯具。

2) 应急照明系统应急启动的联动控制信号应由消防联动控制器发出。当确认火灾后,由发生火灾的报警区域开始,顺序起动全楼疏散通道的应急照明系统。起动全楼消防应急照明系统投入应急状态的起动时间应不大于5s。

3) 消防联动控制器应在自动喷水系统动作前联动切断本防火分区的正常照明电源和非安全电压输出的集中电源型消防应急照明系统的电源输出。

4) 消防控制室应能显示消防应急照明系统的主电工作状态。

5) 消防控制室应分别手动和自动控制消防应急照明系统从主电工作状态转入应急工作状态。

## 10 相关联动控制设计

1) 火灾报警后,应执行以下操作:

①自动打开涉及疏散的电动栅栏。

②宜开启相关层安全技术防范系统的摄像机监视火灾现场。

2) 火灾确认后,应执行以下操作:

①自动打开疏散通道上由门禁系统控制的门;应自动开启门厅的电动旋转门和打开庭院的电动大门。

②应在消防控制室自动或手动切除相关区域的非消防电源。

## 第9章 系统调试及验收

火灾自动报警系统施工过程结束后,施工方应对系统的安装质量进行全数检查,并在竣工时,完成竣工图及竣工报告。

### 1 系统调试

火灾自动报警系统的调试,应在系统施工结束后进行。调试单位在调试前应编制调试程序,并应按照调试程序工作。调试负责人必须由专业技术人员担任。

#### 1.1 调试准备

首先应按设计要求查验设备的规格、型号、数量、备品备件等。其次,对系统的施工质量和线路应按《火灾自动报警系统施工及验收规范》(GB 50166—2007)的系统施工要求检查,对属于施工中出现的问題,应会同有关单位协商解决,并应有文字记录;对于错线、开路、虚焊、短路、绝缘电阻小于 $20M\Omega$ 等问题,应采取相应的处理措施。

对系统中的火灾报警控制器、可燃气体报警控制器、消防联动控制器、气体灭火控制器、消防电气控制装置、消防设备应急电源、消防应急广播设备、消防电话、传输设备、消防控制中心图形显示装置、消防电动装置、防火卷帘控制器、区域显示器(火灾显示盘)、消防应急灯具控制装置、火灾警报装置等设备应分别进行单机通电检查。

#### 1.2 火灾报警控制器调试

1) 调试前应切断报警控制器的所有外部控制连线,并将任一个总线回路的火灾探测器以及该总线回路上的手动火灾报警按钮等部件连接后,才可接通电源。

2) 按现行国家标准《火灾报警控制器》(GB 4717—2005)的有关要求对控制器进行下列功能检查并记录:

①检查自检功能和操作级别。

②使控制器与探测器之间的连线断路和短路,控制器应在100s内发出故障信号(短路时发出火灾报警信号除外);在故障状态下,使任一非故障部位的探测器发出火灾报警信号,控制器应在1min内发出火灾报警信号,并应记录火灾报警时间;再使其他探测器发出火灾报警信号,检查控制器的再次报警功能。

③检查消音和复位功能。

④使控制器与备用电源之间的连线断路和短路,控制器应在100s内发出故障信号。

⑤检查屏蔽功能。

⑥使总线隔离器保护范围内的任一点短路,检查总线隔离器的隔离保护功能。

⑦使任一总线回路上不少于10只的火灾探测器同时处于火灾报警状态,检查控制器的负载功能。

⑧检查主、备电源的自动转换功能,并在备电工作状态下重复上述第⑦款检查。

⑨检查控制器特有的其他功能。

3) 依次将其他回路与火灾报警控制器相连接,重复本节第1.2中第2)条的第②、⑥、⑦款检查。

#### 1.3 点型感烟、感温火灾探测器调试

1) 采用专用的检测仪器或模拟火灾的方法,逐个检查每只火灾探测器的报警功能,探测器应能发出火灾报警信号。

2) 对于不可恢复的火灾探测器应采取模拟报警方法逐个检查其报警功能,探测器应能发出火灾报警信号。当有备品时,可抽样检查其报警功能。

#### 1.4 线型感温火灾探测器调试

1) 在不可恢复的探测器上模拟火警和故障,探测器应能分别发出火灾报警和故障信号。

2) 可恢复的探测器可采用专用检测仪器或模拟火灾的办法,使其发出火灾报警信号,并在终端盒上模拟故障,探测器应能分别发出火灾报警和故障信号。

#### 1.5 红外光束感烟火灾探测器调试

1) 调整探测器的光路调节装置,使探测器处于正常监视状态。

2) 用减光率为0.9dB的减光片遮挡光路,探测器不应发出火灾报警信号。

3) 用产品生产企业设定减光率(1.0~10.0dB)的减光片遮挡光路,探测器应发出火灾报警信号。

4) 用减光率为11.5dB的减光片遮挡光路,探测器应发出故障信号或火灾报警信号。

#### 1.6 通过管路采样的吸气式火灾探测器调试

1) 在采样管最末端(最不利处)采样孔加入试验烟,探测器或其控制装置应在120s内发出火灾报警信号。

2) 根据产品说明书,改变探测器的采样管路气流,使探测器处于故障状态,探测器或其控制装置应在100s内发出故障信号。

#### 1.7 点型火焰探测器和图像型火灾探测器调试

采用专用探测仪器或模拟火灾的方法在探测器监视区域内最不利处检查探测器的报警功能,探测器应能正确响应。

#### 1.8 手动火灾报警按钮调试

1) 对可恢复的手动火灾报警按钮,施加适当的推力使报警按钮动作,报警按钮应发出火灾报警信号。

2) 对不可恢复的手动火灾报警按钮应采用模拟动作的方法使报警按钮发出火灾报警信号(当有备用启动零件时,可抽样进行动作试验),报警按钮应发出火灾报警信号。

#### 1.9 消防联动控制器调试

1) 将消防联动控制器与火灾报警控制器、任一回路的输入/输出模块及该回路模块控制的受控设备相连接,切断所有受控现场设备的控制连线,接通电源。

2) 按现行国家标准《消防联动控制系统》(GB 16806—

2006)的有关规定检查消防联动控制系统内各类用电设备的各项控制、接收反馈信号(可模拟现场设备启动信号)和显示功能。

3)使消防联动控制器分别处于自动工作和手动工作状态,检查其状态显示,并按现行国家标准《消防联动控制系统》(GB 16806—2006)的有关规定进行下列功能检查并记录,控制器应满足相应要求:

①自检功能和操作级别。

②消防联动控制器与各模块之间的连线断路和短路时,消防联动控制器应能在100s秒内发出故障信号。

③消防联动控制器与备用电源之间的连线断路和短路时,消防联动控制器应能在100s内发出故障信号。

④检查消音、复位功能。

⑤检查屏蔽功能。

⑥使总线隔离器保护范围内的任一点短路,检查总线隔离器的隔离保护功能。

⑦使至少50个输入/输出模块同时处于动作状态(模块总数少于50个时,使所有模块动作),检查消防联动控制器的最大负载功能。

⑧检查主、备电源的自动转换功能,并在备电工作状态下重复本条第⑦款检查。

4)接通所有启动后可以恢复的受控现场设备。

5)使消防联动控制器的工作状态处于自动状态,按现行国家标准《消防联动控制系统》(GB 16806—2006)的有关规定和设计的联动逻辑关系进行下列功能检查并记录:

①按设计的联动逻辑关系,使相应的火灾探测器发出火灾报警信号,检查消防联动控制器接收火灾报警信号情况、发出联动信号情况、模块动作情况、受控设备的动作情况、受控现场设备动作情况、接收反馈信号(对于启动后不能恢复的受控现场设备,可模拟现场设备启动反馈信号)及各种显示情况。

②检查手动插入优先功能。

6)使消防联动控制器的工作状态处于手动状态,按现行国家标准《消防联动控制系统》(GB 16806—2006)的有关规定和设计的联动逻辑关系依次手动启动相应的受控设备,检查消防联动控制器发出联动信号情况、模块动作情况、受控设备的动作情况、受控现场设备动作情况、接收反馈信号(对于启动后不能恢复的受控现场设备,可模拟现场设备启动反馈信号)及各种显示情况。

7)对于直接用火灾探测器作为触发器件的自动灭火控制系统除符合本节有关规定外,尚应按现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998)的规定进行功能检查。

8)依次将其他回路的输入/输出模块及该回路模块控制的受控设备相连接,切断所有受控现场设备的控制连线,接通电源,重复上述第3)~7)条的各项检查。

#### 1.10 区域显示器(火灾显示盘)调试

将区域显示器(火灾显示盘)与火灾报警控制器相连接,按现行国家标准《火灾显示盘通用技术条件》GB 17429的有关要求检查其下列功能并记录,区域显示器应满足相应要求:

1)区域显示器(火灾显示盘)应在3s内正确接收和显示火灾报警控制器发出的火灾报警信号。

2)消音、复位功能。

3)操作级别。

4)对于非火灾报警控制器供电的区域显示器(火灾显示盘),应检查主、备电源的自动转换功能和故障报警功能。

#### 1.11 可燃气体报警控制器调试

1)切断可燃气体报警控制器的所有外部控制连线,将任一回路与控制器相连接后,接通电源。

2)控制器应按现行国家标准《可燃气体报警控制器技术要求和试验方法》(GB 16808—1997)的有关要求进行下列功能试验,并应满足相应要求:

①自检功能和操作级别。

②控制器与探测器之间的连线断路和短路时,控制器应在100s内发出故障信号。

③在故障状态下,使任一非故障探测器发出报警信号,控制器应在1min内发出报警信号,并应记录报警时间;再使其他探测器发出报警信号,检查控制器的再次报警功能。

④消音和复位功能。

⑤控制器与备用电源之间的连线断路和短路时,控制器应在100s发出故障信号。

⑥高限报警或低、高两段报警功能。

⑦报警设定值的显示功能。

⑧控制器最大负载功能,使至少4只可燃气体探测器同时处于报警状态(探测器总数少于4只时,使所有探测器均处于报警状态)。

⑨主、备电源的自动转换功能,并在备电工作状态下重复本条第⑧款检查。

3)依次将其他回路与其他可燃气体报警装置相连接,重复本节1.11中第2)条检查。

#### 1.12 可燃气体探测器调试

1)依次逐个将可燃气体探测器按产品生产企业提供的调试方法使其正常动作,探测器应发出报警信号。

2)对探测器施加达到响应浓度值的可燃气体标准样气,探测器应在30s内响应。撤去可燃气体,探测器应在60s内恢复到正常监视状态。

3)对于线型可燃气体探测器除符合本节规定外,尚应将发射器发出的光全部遮挡,探测器相应的控制装置应在100s内发出故障信号。

#### 1.13 消防电话调试

1)在消防控制室与所有消防电话、电话插孔之间互相呼叫与通话,总机应能显示每部分机或电话插孔的位置,呼叫铃声和通话语音应清晰。

2)消防控制室的外线电话与另外一部外线电话模拟报警电话通话,语音应清晰。

3)检查群呼、录音等功能,各项功能应符合要求。

#### 1.14 消防应急广播设备调试

1)以手动方式在消防控制室对所有广播分区进行选区广播,对所有共用扬声器进行强行切换;应急广播应以最大功率输出。

2)对扩音机和备用扩音机进行全负荷试验,应急广播的语音应清晰。

3)对接入联动系统的消防应急广播设备系统,使其处于自动工作状态,然后按设计的逻辑关系,检查应急广播的工作情况,系统应按设计的逻辑广播。

4)使任意一个扬声器断路,其他扬声器的工作状态不

应受影响。

### 1.15 系统备用电源调试

1) 检查系统中各种控制装置使用的备用电源容量, 电源容量应与设计容量相符。

2) 使各备用电源放电终止, 再充电 48h 后断开设备主电源, 备用电源至少应保证设备工作 8h, 且应满足相应的标准及设计要求。

### 1.16 消防设备应急电源调试

1) 切断应急电源应急输出时直接启动设备的连线, 接通应急电源的主电源。

2) 按下列要求检查应急电源的控制功能和转换功能, 并观察其输入电压、输出电压、输出电流、主电工作状态、应急工作状态、电池组及各单节电池电压的显示情况, 做好记录, 显示情况应与产品使用说明书规定相符, 并满足要求。

①手动启动应急电源输出, 应急电源的主电和备用电源应不能同时输出, 且应在 5s 内完成应急转换。

②手动停止应急电源的输出, 应急电源应恢复到启动前的工作状态。

③断开应急电源的主电源, 应急电源应能发出声提示信号, 声信号应能手动消除; 接通主电源, 应急电源应恢复到主电工作状态。

④给具有联动自动控制功能的应急电源输入联动启动信号, 应急电源应在 5s 内转入到应急工作状态, 且主电源和备用电源应不能同时输出; 输入联动停止信号, 应急电源应恢复到主电工作状态。

⑤具有手动和自动控制功能的应急电源处于自动控制状态, 然后手动插入操作, 应急电源应有手动插入优先功能, 且应有自动控制状态和手动控制状态指示。

3) 断开应急电源的负载, 按下列要求检查应急电源的保护功能, 并做好记录:

①使任一输出回路保护动作, 其他回路输出电压应正常。

②使配接三相交流负载输出的应急电源的三相负载回路中的任一相停止输出, 应急电源应能自动停止该回路的其他两相输出, 并应发出声、光故障信号。

③使配接单相交流负载的交流三相输出应急电源输出的任一相停止输出, 其他两相应能正常工作, 并应发出声、光故障信号。

4) 将应急电源接上等效于满负载的模拟负载, 使其处于应急工作状态, 应急工作时间应大于设计应急工作时间的 1.5 倍, 且不小于产品标称的应急工作时间。

5) 使应急电源充电回路与电池之间、电池与电池之间连线断线, 应急电源应在 100s 内发出声、光故障信号, 声故障信号应能手动消除。

### 1.17 消防控制中心图形显示装置调试

1) 将消防控制中心图形显示装置与火灾报警控制器和消防联动控制器相连, 接通电源。

2) 操作显示装置使其显示完整系统区域覆盖模拟图和各层平面图, 图中应明确指示出报警区域、主要部位和各消防设备的名称和物理位置, 显示界面应为中文界面。

3) 使火灾报警控制器和消防联动控制器分别发出火灾报警信号和联动控制信号, 显示装置应在 3s 内接收, 准确

显示相应信号的物理位置, 并能优先显示火灾报警信号相对应的界面。

4) 使具有多个报警平面图的显示装置处于多报警平面显示状态, 各报警平面应能自动和手动查询, 并应有总数显示, 且应能手动插入使其立即显示首次火警相应的报警平面图。

5) 使显示装置显示故障或联动平面, 输入火灾报警信号, 显示装置应能立即转入火灾报警平面的显示。

### 1.18 气体灭火控制器调试

1) 切断气体灭火控制器的所有外部控制连线, 接通电源。

2) 给气体灭火控制器输入设定的启动控制信号, 控制器应有启动输出, 并发出声、光启动信号。

3) 输入启动设备启动的模拟反馈信号, 控制器应在 10s 内接收并显示。

4) 检查控制器的延时功能, 延时时间应在 0~30s 内可调。

5) 使控制器处于自动控制状态, 再手动插入操作, 手动插入操作应优先。

6) 按设计控制逻辑操作控制器, 检查是否满足设计的逻辑功能。

7) 检查控制器向消防联动控制器发送的反馈信号正误。

### 1.19 防火卷帘控制器调试

1) 防火卷帘控制器应与消防联动控制器、火灾探测器、卷门机连接并通电, 防火卷帘控制器应处于正常监视状态。

2) 手动操作防火卷帘控制器的按钮, 防火卷帘控制器应能向消防联动控制器发出防火卷帘起、闭和停止的反馈信号。

3) 用于疏散通道的防火卷帘控制器应具有两步关闭的功能, 并应向消防联动控制器发出反馈信号。防火卷帘控制器接收到首次火灾报警信号后, 应能控制防火卷帘自动关闭到中位处停止; 接收到二次报警信号后, 应能控制防火卷帘继续关闭至全闭状态。

4) 用于分隔防火分区的防火卷帘控制器在接收到防火分区内任一火灾报警信号后, 应能控制防火卷帘到全关闭状态, 并应向消防联动控制器发出反馈信号。

### 1.20 其他受控部件调试

对系统内其他受控部件的调试应按相应的产品标准进行, 在无相应国家标准或行业标准时, 宜按产品生产企业提供的调试方法分别进行。

### 1.21 火灾自动报警系统性能调试

1) 将所有经调试合格的各项设备、系统按设计连接组成完整的火灾自动报警系统, 按现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998) 的有关规定和设计的联动逻辑关系检查系统的各项功能。

2) 火灾自动报警系统在连续运行 120h 无故障后, 按《火灾自动报警系统施工及验收规范》(GB 50116—2007) 附录 C 的规定填写调试记录表。

## 2 系统验收

火灾自动报警系统竣工后, 建设单位应负责组织实施、设计、监理等单位进行验收。验收不合格不得投入使用。火



灾自动报警系统工程的验收,应按《火灾自动报警系统施工及验收规范》(GB 50116—2007)附录E的要求填写相应的记录。

1) 对系统中下列装置的安装位置、施工质量和功能等应进行验收。

①火灾报警系统装置(包括各种火灾探测器、手动火灾报警按钮、火灾报警控制器和区域显示器等)。

②消防联动控制系统(含消防联动控制器、气体灭火控制器、消防电气控制装置、消防设备应急电源、消防应急广播设备、消防电话、传输设备、消防控制中心图形显示装置、模块、消防电动装置、消火栓按钮等设备)。

③自动灭火系统控制装置(包括自动喷水、气体、干粉、泡沫等固定灭火系统的控制装置)。

④消火栓系统的控制装置。

⑤通风空调、防烟排烟及电动防火阀等控制装置。

⑥电动防火门控制装置、防火卷帘控制器。

⑦消防电梯和非消防电梯的回降控制装置。

⑧火灾警报装置。

⑨火灾应急照明和疏散指示控制装置。

⑩切断非消防电源的控制装置。

⑪电动阀控制装置。

⑫消防联网通信。

⑬系统内的其他消防控制装置。

2) 应按现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2007)设计的各项系统功能进行验收。系统中各装置的安装位置、施工质量和功能等的验收数量应满足下列要求。

①各类消防用电设备主、备电源的自动转换装置,应进行3次转换试验,每次试验均应正常。

②火灾报警控制器(含可燃气体报警控制器)和消防联动控制器应按实际安装数量全部进行功能检验。消防联动控制系统中其他各种用电设备、区域显示器应按下列要求进行功能检验:

a. 实际安装数量在5台以下者,全部检验。

b. 实际安装数量在6~10台者,抽验5台。

c. 实际安装数量超过10台者,按实际安装数量30%~50%的比例抽验,但抽验总数应不少于5台。

d. 各装置的安装位置、型号、数量、类别及安装质量应符合设计要求。

③火灾探测器(含可燃气体探测器)和手动火灾报警按钮,应按下列要求进行模拟火灾响应(可燃气体报警)和故障信号检验:

a. 实际安装数量在100只以下者,抽验20只(每个回路都应抽验)。

b. 实际安装数量超过100只,每个回路按实际安装数量10%~20%的比例抽验,但抽验总数不应少于20只。

c. 被检查的火灾探测器的类别、型号、适用场所、安装高度、保护半径、保护面积和探测器的间距等均应符合设计要求。

④室内消火栓的功能验收应在出水压力符合现行国家有关建筑设计防火规范条件下,抽验下列控制功能:

a. 在消防控制室内操作起、停泵1~3次。

b. 消火栓处操作起泵按钮,按实际安装数量5%~10%的比例抽验。

⑤自动喷水灭火系统,应在符合现行国家标准《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2001)的条件下,抽验

下列控制功能:

a. 在消防控制室操作起、停泵1~3次。

b. 水流指示器、信号阀等按实际安装数量的30%~50%的比例抽验。

c. 压力开关、电动阀、电磁阀等按实际安装数量全部进行检验。

⑥气体、泡沫、干粉等灭火系统,应符合国家现行有关系统设计规范的条件下按实际安装数量的20%~30%的比例抽验下列控制功能:

a. 自动、手动启动和紧急切断试验1~3次。

b. 与固定灭火设备联动控制的其他设备动作(包括关闭防火门窗、停止空调风机、关闭防火阀等)试验1~3次。

⑦电动防火门、防火卷帘,5樘以下的应全部检验,超过5樘的应按实际安装数量20%的比例抽验,但抽验总数应不小于5樘,并抽验联动控制功能。

⑧防烟排烟风机应全部检验,通风空调和防排烟设备的阀门,应按实际安装数量10%~20%的比例抽验,并抽验联动功能,且应符合下列要求:

a. 报警联动启动、消防控制室直接起停、现场手动启动联动防烟排烟风机1~3次。

b. 报警联动停、消防控制室远程停通风空调送风1~3次。

c. 报警联动开启、消防控制室开启、现场手动开启防排烟阀门1~3次。

⑨消防电梯应进行1~2次手动控制和联动控制功能检验,非消防电梯应进行1~2次联动返回首层功能检验,其控制功能、信号均应正常。

⑩火灾应急广播设备,应按实际安装数量的10%~20%的比例进行下列功能检验。

a. 对所有广播分区进行选区广播,对共用扬声器进行强行切换。

b. 对扩音机和备用扩音机进行全负荷试验。

c. 检查应急广播的逻辑工作和联动功能。

⑪消防专用电话的检验,应符合下列要求:

a. 消防控制室与所设的对讲电话分机进行1~3次通话试验。

b. 电话插孔按实际安装数量10%~20%的比例进行通话试验。

c. 消防控制室的外线电话与另一部外线电话模拟报警电话进行1~3次通话试验。

⑫消防应急照明和疏散指示系统控制装置应进行1~3次使系统转入应急状态检验,系统中各消防应急照明灯具均应能转入应急状态。

3) 各项检验项目中,当有不合格时,应修复或更换,并进行复验。复验时,对有抽验比例要求的,应加倍检验。

4) 系统工程质量验收判定标准应符合下列要求:

①系统内的设备及配件规格型号与设计不符、无国家相关证书和检验报告的,系统内的任一控制器和火灾探测器无法发出报警信号,无法实现要求的联动功能的,定为A类不合格。

②系统验收前,施工单位应提供竣工验收申请报告、设计变更通知书、竣工图;工程质量事故处理报告;施工现场质量管理检查记录;火灾自动报警系统施工过程质量管理检查记录;火灾自动报警系统的检验报告、合格证及相关材料,提供资料不符合以上要求的定为B类不合格。

③除本条的第①、②款规定的A、B类不合格外,其余

不合格项均为C类不合格。

④系统验收合格判定应为： $A=0$ ，且 $B \leq 2$ ，且 $B+C \leq$ 检查项的5%为合格，否则为不合格。

### 3 系统接地要求

火灾自动报警系统接地装置的接地电阻值应符合下列要求：

1) 采用共用接地装置时，接地装置的接地电阻值必须按接入设备中要求的最小值确定。

2) 采用专用接地装置时，接地电阻值应不大于 $4\Omega$ 。

在消防控制室应设等电位连接网络。电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架、金属管、槽、浪涌保护器接地端等均应以最短的距离与等电位连接网络的接地端子连接。

由消防控制室接地板引至各消防电子设备的专用接地线应选用铜芯绝缘导线，其线芯截面面积应不小于 $4\text{mm}^2$ 。

### 4 系统使用和维护

1) 火灾自动报警系统投入运行前，应具备下列条件：

①火灾自动报警系统的使用单位应由经过专门培训的人员负责系统的管理操作和维护。

②火灾自动报警系统正式启用时，应具有下列文件资料：

- a. 系统竣工图及设备的技术资料。
- b. 公安消防机构出具的有关法律文书。
- c. 系统的操作规程及维护保养管理制度。
- d. 系统操作员名册及相应的工作职责。
- e. 值班记录和使用图表。

③应建立火灾自动报警系统的有关技术档案，并应有电子备份档案。

2) 火灾自动报警系统应保持连续正常运行，不得随意中断。

3) 火灾自动报警系统的使用和维护，应满足下列要求：

①每日应检查火灾报警控制器的功能，并按《火灾自动报警系统施工及验收规范》(GB 50166—2007)的“火灾自动报警系统日常维护检查记录表”填写相应的记录。

②每季度应检查和试验火灾自动报警系统的下列功能，并按《火灾自动报警系统施工及验收规范》(GB 50166—2007)的“火灾自动报警系统日常维护检查记录表”填写相

应的记录。

a. 采用专用检测仪器分期分批试验探测器的动作及确认灯显示。

b. 试验火灾警报装置的声光显示。

c. 试验水流指示器、压力开关等报警功能、信号显示。

d. 对主电源和备用电源进行1~3次自动切换试验。

e. 用自动或手动检查下列消防控制设备的控制显示功能：

(a) 室内消火栓、自动喷水、泡沫、气体、干粉等灭火系统的控制设备。

(b) 抽验电动防火门、防火卷帘门，数量不小于总数的25%。

(c) 选层试验消防应急广播设备，并试验公共广播强制转入火灾应急广播的功能，抽检数量不小于总数的25%。

(d) 火灾应急照明与疏散指示标志的控制装置。

(e) 送风机、排烟机和自动挡烟垂壁的控制设备。

f. 检查消防电梯迫降功能。

g. 应抽取不少于总数25%的消防电话和电话插孔在消防控制室进行对讲通话试验。

③每年应检查和试验火灾自动报警系统的下列功能，并按《火灾自动报警系统施工及验收规范》(GB 50166—2007)的“火灾自动报警系统日常维护检查记录表”填写相应的记录。

a. 应用专用检测仪器对所安装的全部探测器和手动报警装置试验至少1次。

b. 自动和手动打开排烟阀，关闭电动防火阀和空调系统。

c. 对全部电动防火门、防火卷帘的试验至少1次。

d. 强制切断非消防电源功能试验。

e. 对其他有关的消防控制装置进行功能试验。

4) 点型感烟火灾探测器投入运行2年后，应每隔3年至少全部清洗一遍；通过采样管采样的吸气式感烟火灾探测器根据使用环境的不同，需要对采样管道进行定期吹洗，最长的时间间隔不应超过1年。探测器清洗后应做响应阈值及其他必要的功能试验，合格者方可继续使用。可燃气体探测器的气敏元件超过生产企业规定的寿命年限后应及时更换。探测器的清洗及气敏元件的更换应由相关资质的机构根据产品生产企业的要求进行。



### 参 考 文 献

- [1] 孙景芝,韩永学. 电气消防[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [2] 吴龙标,方俊,谢启源. 火灾探测与信息处理[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [3] 陈南. 建筑火灾自动报警技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [4] 王学谦. 建筑防火安全技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [5] 景绒. 建筑消防给水系统[M]. 北京:化学工业出版社,2006.

## 第9篇 建筑设备监控系统

主 编：杨守权 张文才

编写人员：张青虎



# 第1章 建筑设备监控系统概述

## 1 建筑设备监控系统定义

建筑设备监控系统 BAS (Building Automation System), 是智能建筑或建筑智能化系统中的一个主要系统, 也称作“建筑设备自动化系统”或“楼宇自动化系统”。

国家标准《智能建筑工程质量验收规范》(GB 50339—2003) 2.0.1 条规定建筑设备监控系统是指对建筑物或建筑群内的空调与通风、变配电、照明、给水排水、热源和热交换、冷冻水和冷却水及电梯和自动扶梯等系统, 以集中监视、控制和管理为目的构成的综合系统。

建筑设备监控系统由计算机控制系统、现场输入装置及输出装置、控制网络和相应的系统软件及应用软件组成。

## 2 建筑设备监控系统的功能

建筑设备监控系统功能是完成建筑物和建筑群内各类机电设备监测、控制及自动化管理, 从而形成一个安全、可靠、节能和集中管理的控制平台。由于建筑物和建筑群的机电设备多、分布广、监控要求复杂, 所以通常都采用分散控制、集中管理的方法, 为用户提供一个高效、节能、舒适、安全的环境, 并降低建筑物的能耗和管理成本。

### 2.1 建筑设备监控系统的监控目的

- 1) 实现自动监视与自动调节, 以适应建筑环境的变化。
- 2) 设备的起、停和运行进行连锁操作, 以确保机组的安全运行。
- 3) 设备故障的自动监测, 以保证机电设备和及时维修。
- 4) 实现优化控制以实现节能降耗。
- 5) 实现过程控制自动化以节约设备管理人员。

### 2.2 建筑设备监控系统的监控内容

- 1) 实现设备的起、停控制和连锁操作。
- 2) 实时监测和存储设备运行的工作状态。
- 3) 实时监测和存储设备的故障报警信号。
- 4) 实时监测和采集系统的被控参数, 如温度、湿度、流量、电压和电流等。
- 5) 按预定的控制程序对系统的被控参数进行自动调节, 使其运行在设定的范围。
- 6) 采用综合措施实现节能运行。
- 7) 提供远距离操作和就地操作的功能。
- 8) 自动生成系统运行报告、设备故障报警报告及设备维修报告。
- 9) 系统各种实时数据和历史数据记录等均以图形化界面显示。

## 3 建筑设备监控系统的监控要求

### 3.1 供配电系统

对供配电系统只进行监测, 不进行控制。

监视高压供电系统、变压器、低压配电系统、备用发电机组的运行状态和故障报警, 对电压、电流、有功功率、功率因数和电度数据等进行检测。为安全运行提供实时信息和向物业管理部门提供必要的运行数据。

系统运行参数的监测可以由设备监控系统直接监测, 也可通过设备通信接口进行监测。

### 3.2 公共照明系统

对建筑物和建筑群中的公共照明设备(公共区域照明、通道照明、园区照明、景观照明、节日照明和航空障碍灯照明等), 按预定的时间表、光照度进行开关控制, 并监视其运行状态和故障报警。

### 3.3 冷冻水和冷却水系统

对由制冷机组(包括压缩式、吸收式、直燃式、热泵、冰蓄冷等)和冷冻水系统、冷却水系统等构成的制冷系统进行监测和控制。

可以由设备监控系统直接监测, 也可通过设备自身配置的控制通信接口进行监测。

### 3.4 热源和热交换系统

对设备的起、停、运行状态和故障进行监控, 核实热源和热交换系统能耗与统计资料。

控制调节热交换器一次侧的流量来控制热交换器二次侧热水的温度, 使其符合设计要求, 并控制循环泵的起、停、补水泵的起、停, 监测设备的运行状态和故障报警信号。

### 3.5 空调系统

空调系统包括新风机组、空调机组等。对新风机组和空调机组按室外温、湿度条件选择系统的工作模式, 按预定的时间表进行机组的起、停控制, 按预定的控制规律控制执行机构使温度和湿度、CO<sub>2</sub>等参数符合设计要求, 监测系统的运行状态、被控参数和故障报警信号。对变风量空调系统的空调机组进行风量调节和对变风量末端进行控制。

### 3.6 通风系统

对送、排风机组进行监控。按预定的时间表或室内CO、CO<sub>2</sub>的浓度控制机组的起、停; 监测机组的运行状态和故障报警信号。

### 3.7 给水排水系统

对给水系统进行水泵起停控制, 液位、压力等参数检测和水泵运行状态、报警监测。

对中水系统, 要求监测中水池的水位信号, 根据水位信号按设计要求控制循环水泵的起、停, 监测其运行状态和故障报警信号。当工作泵出现故障时自动切换备用泵投入工作。

对排水系统要求根据雨水坑、集水坑的水位控制排水泵的起、停, 监测其运行状态和故障报警信号, 特别是雨水坑和集水坑的溢出报警信号。当工作泵出现故障时自动切换备

用泵投入工作。

### 3.8 电梯系统

由于电梯系统的控制系统均由电梯生产厂家成套供应,包括电梯控制器、群控器和楼层显示器等,所以建筑设备监控系统只监测它们的运行状态和故障信息。

电梯和自动扶梯的系统运行参数的监测可通过电梯控制系统的通信接口进行监测。

## 4 建筑设备监控系统工程实施的步骤

### 4.1 建筑设备监控系统工程实施过程

建筑设备监控系统工程实施过程,如图9.1-1所示。

1) 设计阶段是指从系统的需求分析和可行性研究开始,到完成初步设计、施工图设计的过程。

2) 工程招投标阶段是通过市场机制选择施工单位的过程(也称系统集成商),包括工程的招标、投标、开标、评标、定标等。

3) 工程实施阶段是从工程定标后的进场、深化设计、设备采购、管线施工、非标设备加工、设备安装、调试、自检、试运行、技术培训的过程。

4) 检测验收阶段是指工程质量的第三方监测和工程的验收过程。

5) 运行管理阶段是指工程竣工验收后,交给物业管理单位的日常运行管理和维护保养过程。

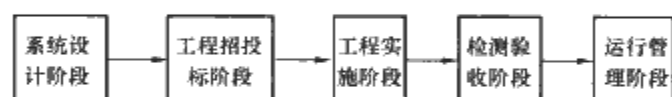


图 9.1-1 建筑设备监控系统工程实施过程框图

### 4.2 实施过程中各方职责

1) 在整个工程实施过程中主要的参与者,包括建设单位、设计单位、监理单位、施工单位、检测机构和物业管理单位等。它们的作用各不相同,共同的职责是保证工程的质量。

2) 建设单位是工程建设过程的总负责方,对工程的目标、系统的需求和质量的监督负全面责任,也是各方协调的牵头单位。

3) 设计单位的职责是根据建设单位的需求,提供可全面实现需求的工程设计,并在工程建设过程中提供技术服务。

4) 监理单位的职责是在工程实施过程中代表建设单位对工程质量进行监督检查,并参与工程质量的监测与验收。

5) 施工单位(也称系统集成商),其职责是根据建设单位的需求,按审定的设计文件和工程合同文件进行系统的深化设计,组织有序施工,按期完成施工,保证工程质量,并负责技术培训和保修。

6) 检测机构的职责是接受建设单位的委托,根据国家标准和规范对工程质量进行检测,以确定工程是否达到设计要求、质量是否合格。

7) 物业管理单位的职责是在系统交付运行后负责日常的运行维护、维修,以确保系统设计和目标的实现。

### 4.3 系统设计阶段

#### 4.3.1 参加单位

执行者:建筑智能化专项设计单位。

配合方:建设单位。

系统设计阶段的流程如图9.1-2所示。

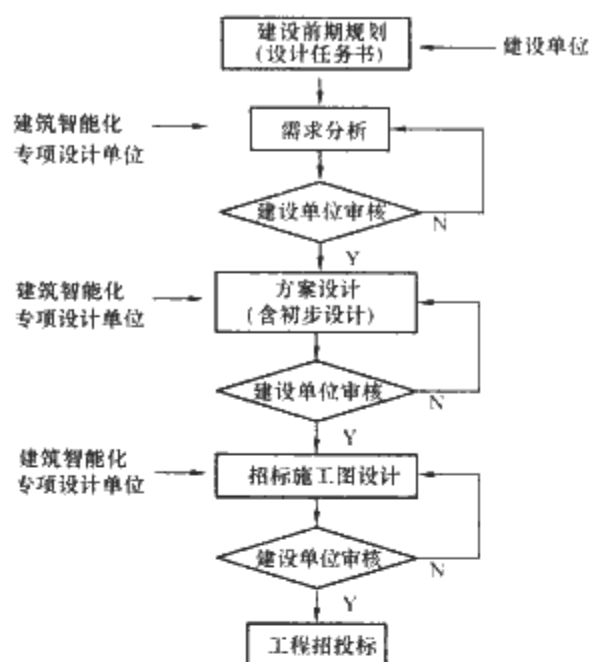


图 9.1-2 系统设计阶段流程

#### 4.3.2 需求分析

1) 需求分析的依据是建设单位提出的设计任务书。

设计单位应根据建设单位设计任务书中对建筑设备监控系统要求达到的目标,与建设单位进行进一步沟通,了解建设单位的要求,并可能对设计任务书进行修正。

2) 设计单位在掌握了建设单位的基本要求后,以“项目可行性报告”、“项目建议书”等形式将需求分析和对系统功能的设想提交建设单位审定。

“项目可行性报告”或“项目建议书”至少应包括建筑物和建筑群中纳入建筑设备监控系统的被控设备一览表、各子系统组成、各子系统所具备的功能等内容。

#### 4.3.3 初步设计

根据经建设单位对“项目可行性报告”或“项目建议书”的确认意见,设计单位进行系统初步设计。初步设计的结果反映在初步设计说明书和初步设计图中。

1) 确定各子系统的控制方式和控制原理图。

2) 确定各被控制对象监控点的性质、类型和点数,并编制监控点一览表。

3) 对各子系统的监控功能给出详细的说明及预期达到的目的。

4) 确定监控系统的网络结构、现场控制器的分布和数量、中央管理系统能实现的功能。

5) 监控中心的位置、面积,提出对监控中心的电气、照明、空调通风、通信、防雷、接地等技术要求。

6) 给出系统的概算。

#### 4.3.4 施工图设计

初步设计经建设单位的评审和确认后,根据建设单位反馈的意见和建议进行施工图设计。施工图设计阶段的结果是向建设单位提供可供工程招标的有关技术说明和施工图样。

1) 对子系统控制原理图、监控点表进行必要的修改。

2) 根据各工种(电、水、暖通和空调)设备分布的平面布置,划分现场控制器和监控点。

3) 根据现场控制器的规模和分布确定控制网络的结构,并绘制系统的控制网络图。

4) 根据传感器和执行器的接线、对电源的要求、与电控箱的监控关系等,绘制建筑设备监控系统的施工图。施工

图应包括：施工设计说明、图例、各层施工平面图、控制网络总图、各子系统的控制原理图和监控点一览表等。

5) 绘制监控中心的平面布置图。

6) 编制设备材料清单。

7) 给出系统的预算。预算应包括设备材料费、施工（安装、调试）费、其他费用（如测试费等）等。

#### 4.4 工程招投标阶段

1) 参加单位。

执行者：招标代理或建设单位。

配合方：建设单位、设计单位。

工程招投标阶段的流程如图 9.1-3 所示。

2) 工程的招标一般由建设单位委托当地建筑市场的招标代理公司主持进行公开招标，也可由建设单位在前期调研的基础上邀请具有资质和工程实施能力的单位进行投标。

3) 工程招标文件一般包括商务部分和技术部分。商务部分的主体是投标报价、商务承诺；投标单位的资质、业绩、人员配备（包括项目经理、参加工程人员）；施工组织设计；招标书规定的文件。技术部分是对标书中技术要求的响应；系统设计文件；设计偏差；招标书规定的文件。

4) 工程招标应贯彻公开、公平、公正的原则，事先应制定公平的评标原则和计分方法。

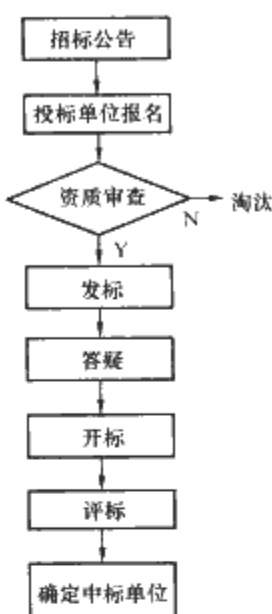


图 9.1-3 工程招投标阶段流程

工程中标单位即为工程的实施单位。

#### 4.5 工程实施阶段

1) 参加单位。

执行者：施工单位。

配合方：建设单位、监理单位和设计单位。

建筑设备监控系统的施工阶段是工程实施的主要阶段，它从施工单位或系统集成商进场开始，到工程竣工为止。工程实施阶段的流程如图 9.1-4 所示。

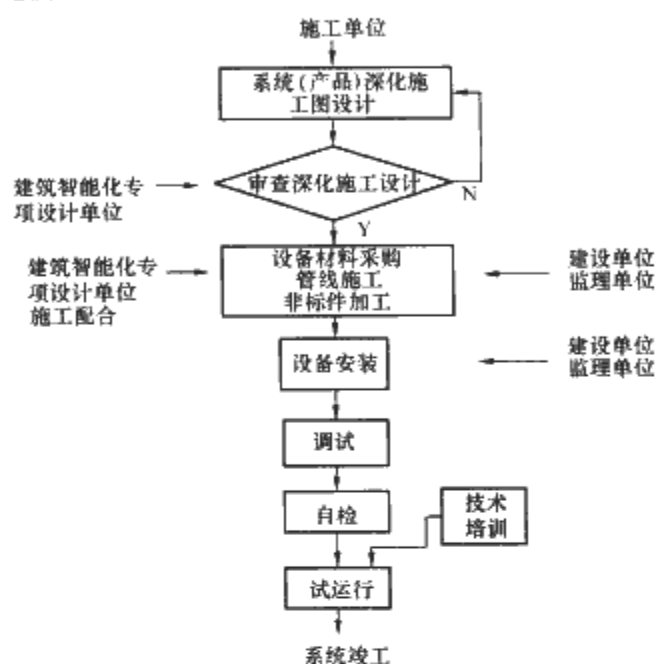


图 9.1-4 工程实施阶段流程

2) 设备采购、管线施工和非标件加工部分过程（见图 9.1-5）。

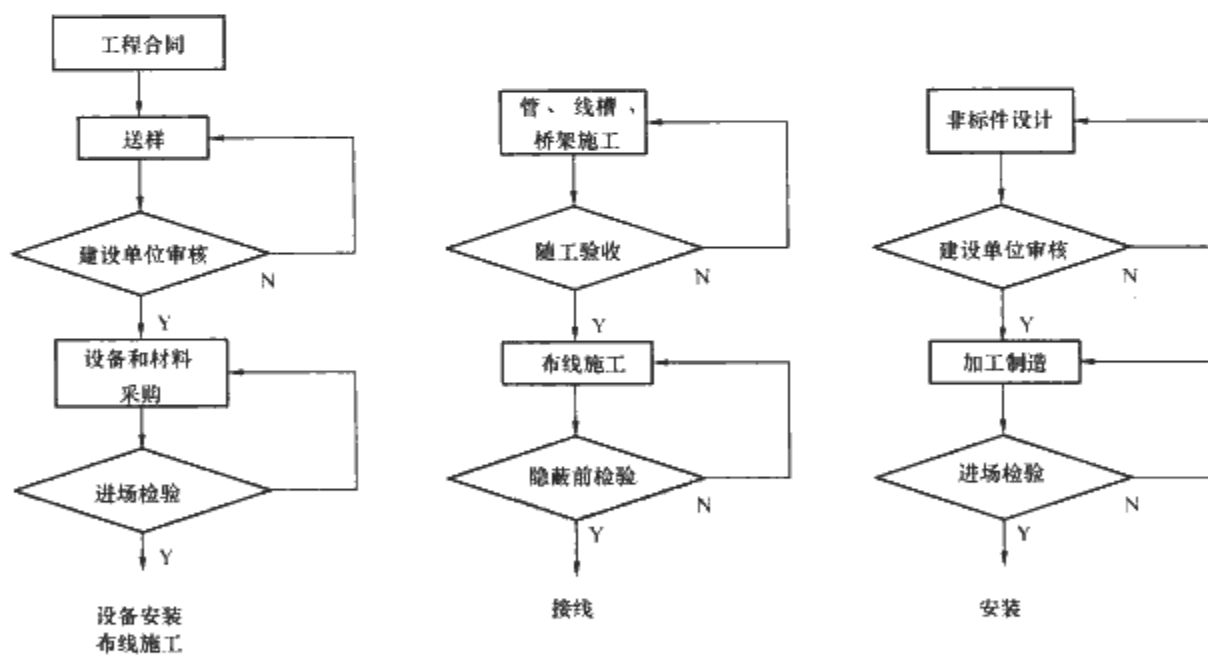


图 9.1-5 设备采购、管线施工和非标件加工部分过程

3) 施工图深化设计是工程招标中标单位根据招标确定的系统或设备产品的品牌，按建设单位通过招投标后对系统建设需求的修正，进行施工图深化设计，深化设计施工图样应通过建设单位和设计单位的审核，并将作为工程合同和工程实施的依据。

4) 设备材料的采购应严格按照投标文件、工程合同规定的设备型号、规格和生产厂家进行采购。采购的设备材料进场时应由建设单位、监理单位和施工单位共同参加进场验收，验收内容应包括装箱单、设备外观、设备备件、技术资料等，并应进行电气性能初检。

5) 非标件加工是指工程中使用的非标准的控制盘、柜、箱和操作台等。其中有些必须经建设单位审核通过方可进行加工制造。

6) 验收文件应有参加验收的各方代表签字。进场验收不合格的设备不得在工程中使用。

7) 管线施工包括预埋管、预留件、桥架等的安装；电缆桥架、电缆沟、电缆竖井、电线导管的施工及线缆敷设；要求随工验收，对预埋管线等要进行隐蔽工程检验，并应做好验收记录。施工阶段还包括非标设备的加工，如电控盘、柜、箱、监控中心操作台等。



8) 设备安装是将场验收合格的设备按设计文件和技术要求进行安装。

设备的安装、调试和初检,系统自检和系统试运行部分流程如图 9.1-6 所示。

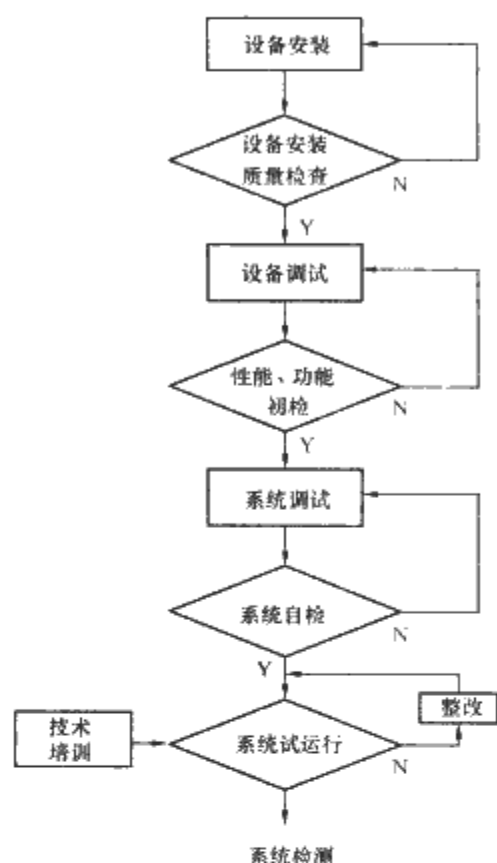


图 9.1-6 设备的安装、调试和初检,系统自检和系统试运行流程

9) 调试是对已安装的设备完成线缆端接、通电,按设计要求进行调试以达到预期的功能。

10) 自检是指施工单位在系统调试达到功能要求后,对系统的功能和性能指标进行全面的监测。自检要求全部监测、逐点检查,并应有监测记录。自检应形成自检报告,并对照设计方案和合同核对设备安装的数量、型号和规格。

11) 试运行是在系统经自检合格后进行。试运行的目的是对系统进行磨合,并对硬件、软件、参数设定值等进行全面考察。试运行应有完整的记录,并有试运行报告,对试运行中暴露的问题做出说明。

试运行达到预期目的后,施工阶段结束,即可认为系统已竣工。

12) 在施工阶段,施工方或系统集成商还应完成对建设单位或物业管理公司的运行管理人员进行技术培训,并提供必要的技术资料、操作说明等。

## 4.6 检测验收阶段

### 4.6.1 检测阶段

1) 参加单位。

执行者:专业检测机构(第三方)。

配合方:建设单位、监理单位、施工单位。

系统检测阶段的过程如图 9.1-7 所示。

2) 由建设单位或施工单位、使用方向具有资质的监测单位申请办理系统检测委托手续。在办理委托检测手续时,应向检测单位递交必要的技术文件。

3) 检测单位根据工程的具体情况、建设单位的要求、规范和规程的规定编制监测大纲,并按检测大纲进行检测。

检测结束后应及时提交检测报告。

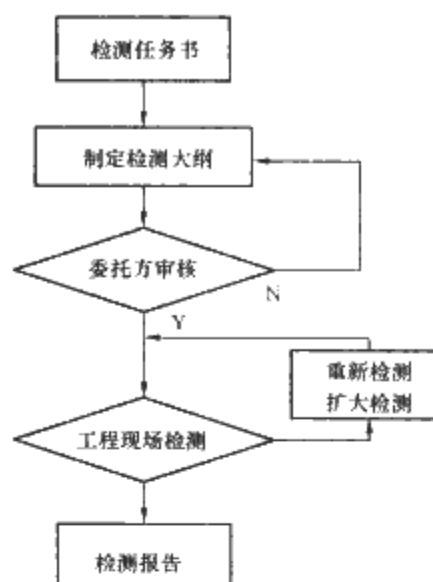


图 9.1-7 系统监测阶段过程

### 4.6.2 工程竣工验收阶段

1) 参加单位。

执行者:建设单位或其上级主管单位。

配合方:监理单位、设计单位、施工单位。

工程竣工验收阶段的流程如图 9.1-8 所示。

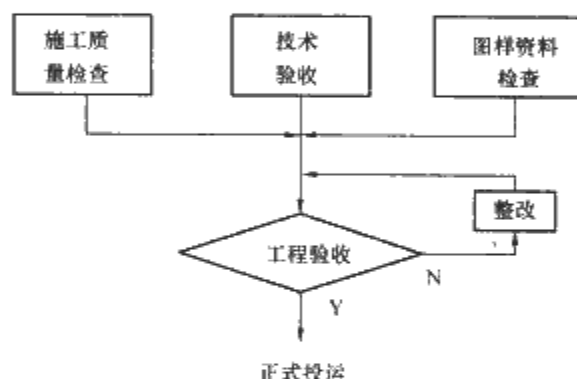


图 9.1-8 工程竣工验收阶段流程

2) 工程竣工验收按《智能建筑工程质量验收规范》(GB 50339—2003)(以下简称《规范》)的有关规定执行。验收必须具备以下的条件:

①系统安装调试、试运行后的正常连续投运时间不少于 1 个月。

②运行管理人员已完成技术培训,具备独立上岗能力,管理制度健全。

③按《规范》进行了系统监测,监测结论为合格。

④图样资料、技术文件及记录完整。

### 4.6.3 验收的组织

1) 重点工程的验收应由建设单位会同当地行业主管部门共同组织对工程进行验收。一般工程可由建设单位组织进行验收。

2) 验收内容。

①施工验收。

②技术验收。

③图样质量审查。

3) 验收结论。验收的结论为合格或不合格。合格是指设备监控系统工程达到了设计要求,并符合《规范》和相关标准的规定。

## 4.7 运行管理阶段

(1) 参加单位

执行者：物业管理公司或专业管理公司。

配合方：施工单位。

### (2) 系统管理

指系统验收合格、对整改项目进行整改后，由建设单位或物业管理公司接手进行运行管理和保养。

系统的管理因建筑性质不同而不同。一般写字楼、酒店、小区等由物业公司负责系统运行管理，也有的单位委托专业公司进行维护管理。对某些自用的办公大楼，如政府、部委的办公楼一般按管理体制进行管理，建筑设备监控系统由后勤部门管理，其他系统如安全防范系统等由保卫部门管理，信息管理系统则由单位的信息中心管理等，也有一些政府、部委的办公楼开始委托物业公司进行管理。

系统的管理不仅仅是平时的值班和维护，它关系到系统的设计指标能否实现，是不容忽视的重要环节，在一定程度上它决定了系统的可靠运行和使用成效。

### (3) 系统管理的分类

1) 系统的静态管理。指工程的竣工图样、平面图、设备资料的计算机管理，包括设备档案、附属设备、备品备件、技术资料等的账务管理、购置管理、更新管理、贵重设备管理、折旧管理等内容。

2) 系统的动态管理。系统的动态管理是指系统和设备

的运行管理和维护管理。

设备的运行管理是指在设备的运行中应根据其投运情况累计它的运行时间，对于由多台设备组成的机组，如冷水机组、冷冻泵、冷却泵和冷却塔、给水泵、各类循环水泵等要进行设备的均衡控制，即对它们的运行时间进行累计，并控制其投运顺序，每次投运时总是使累计运行时间最短的一台机组先运行，以确保设备的运行时间均衡。这样既可减少常用设备机组，又可减少设备的维修，不仅提高设备的经济效益，还能延长设备的使用寿命。

设备的维护管理是指各种设备的运行状况记录及使用、维修的记录，保养计划、保养记录，各种设备的重大事故登录、统计、分析及处理的记录等。

3) 系统的节能管理。节能管理是系统运行管理的重要组成部分。它包括收集有关运行数据，对能源消耗、设备使用效率等状况进行分析处理，对节能措施的效果进行分析，使系统总是处于最佳工作状态，达到节能降耗的目标。

4) 制定非正常运行的对策。当建筑物内环境、设备本身出现故障等非正常状态时，应建立有效的对策或应急预案，使一旦出现非正常情况可从容采取有效的措施，而不致造成恐慌甚至是损坏设备或酿成不必要的事故。

## 第2章 相关标准规范介绍

### 1 智能建筑工程的主要标准规范

智能建筑工程综合标准规范主要有两个：一个是《智能建筑设计标准》(GB/T 50314—2006)，一个是《智能建筑工程质量验收规范》(GB 50339—2003)。

(1)《智能建筑设计标准》(GB/T 50314—2006) (以下简称《标准》)

GB/T 50314—2006 是智能建筑设计的主要依据 (推荐性标准)。

(2)《智能建筑工程质量验收规范》(GB 50339—2003) (以下简称《规范》)

GB 50339—2003 是智能建筑监测验收的主要依据，它由建设部会同有关部门共同制定，并经有关部门会审，批准为国家强制性标准。于 2003 年由建设部以第 159 号公告发布，同年 10 月起施行。《规范》是根据《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300—2001) 规定的原则编制的，它适用于建筑工程的新建、扩建、改建工程中的智能建筑工程质量验收。《规范》分总则、术语和符号、基本规定、通信网络系统、信息网络系统、建筑设备监控系统、火灾自动报警及消防联动系统、安全防范系统、综合布线系统、智能化系统集成、电源与接地、环境和住宅 (小区) 智能化等章。各章的内容包括一般规定、工程实施及质量控制、系统监测和竣工验收等节。在系统监测中又分别将监测项目分成一般项目 and 主控项目。在附录中还列出了施工现场质量管理检查记录表、工程实施及质量控制记录表、监测记录表和工程竣

工验收记录表等。

### 2 关于标准中条文的等级

在各类标准和规范中按照不同条文和项目的重要性规定了强制性条文、主控项目和一般项目等。

#### (1) 强制性条文

国务院在 2000 年颁布了第 279 号令《建设工程质量管理条例》，建设部根据国务院令会同有关部门编制了《工程建设标准强制性条文》，并以建设部建标 [2000] 85 号文通知发布。文中指出“强制性条文”的内容，是工程建设现行国家和行业标准中直接涉及人民生命财产安全、人身健康、环境保护和其他公众利益，同时考虑了提高经济效益和社会效益等方面的要求。“强制性条文”是参与建设活动各方执行工程建设强制性标准和政府对执行情况实施监督的依据。“强制性条文”在工程建设标准文本中通常以黑体字明确表示。

#### (2) 主控项目

主控项目是建筑工程中的对安全、卫生、环境保护和公众利益起决定性作用的经验项目，即那些对工程基本质量起决定性影响的被检验项目。主控项目必须全部符合规范的规定，即不应有不符合要求的检验结果。

#### (3) 一般项目

一般项目是指那些对工程质量不起决定性作用的检验项目，即除强制性条文和主控项目以外的其他检验项目。

## 第3章 建筑设备监控系统网络

### 1 概述

建筑设备监控系统是一个基于网络环境的自动化控制系统，包括管理网络和控制网络。

管理网络是以操作人员 and 计算机的人机接口为核心的数据网络，称为建筑设备监控系统信息管理层。信息层传输的数据由操作人员进行处理，信息高速传递以提高网络数据流量是管理网络的基本要求，数据实时性并不特别影响信息管理层的管理功能，尽管实时性也是管理网络的技术要求之一。管理层网络是以太网。

控制网络是以控制层控制设备和现场层仪表设备为核心的自动化控制网络。其中，控制层和现场层传输的数据由控制层通用控制器和现场层微控制器、各种仪表进行操作，数据实时性和各种自动化功能是控制网络的基本要求，信息传递速度和网络流量并不特别影响控制层和现场层的控制功能，尽管提高网络数据流量也是控制层和现场层的技术要求之一。控制层和现场层主要是各种现场总线网。

管理网络和控制网络的共同特点是要求网络具有开放性，以使不同厂商、不同功能的各种系统的网络能够信息共享、数据交互、设备互操、仪表互换，从而提高智能建筑集成管理能力和降低建筑设备监控系统的寿命周期成本。所以包括以太网在内的现场总线技术是建筑设备监控系统的核心技术。

管理网络节点包括计算机和网络设备，控制网络节点包括通用控制器、微控制器和各种仪表设备。控制网络比管理网络更强调系统响应的实时性。

因此，建筑设备监控系统是包括管理网络节点、控制网络节点、网络连接设备和网络通信协议等所有硬件、软件的集合。

建筑设备监控系统网络可以从逻辑上分为三层，包括信息管理层、自动控制层、现场设备层。每个层次的网络，在逻辑上都是互相独立的；每一层网络都有自己的具体的功能：管理层进行信息综合，控制层实现控制策略，现场层完成仪表信号传送，等等。

网络层次之间可以进行网络通信协议转换，采用网络接口器连接；每个节点都遵守各自网络的通信协议，通信协议包括各种约定的规则（数据和信息格式、通信过程和通信顺序等）。网络层次不断地互相交换管理信息、控制信息与数据，实现网络中硬件、软件、数据等资源的共享，共同完成建筑设备的监控工作与建筑管理任务。

#### 1.1 建筑设备监控系统网络

（1）2003年建设部设计标准《全国民用建筑工程技术设计技术措施·电气》

该标准第20章《智能化系统集成》把建筑设备监控系统BAS定义为建筑管理系统BMS网络的三个子网之一（BMS=BAS+SAS+FAS），如图9.3-1所示。

（2）国家标准《建筑及居住区数字化技术应用规范》（GB/T 20299—2006）

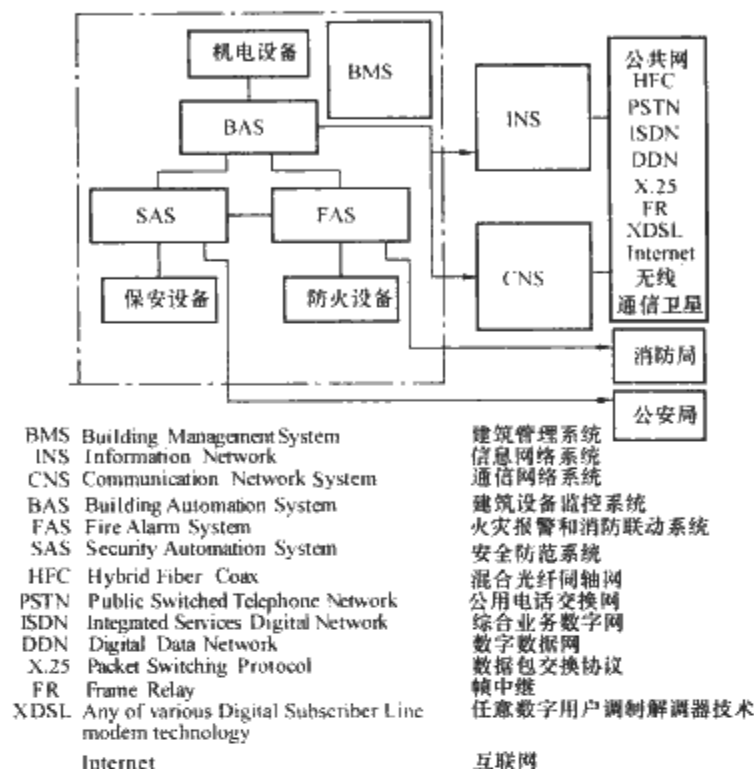


图 9.3-1 建筑设备监控系统 BAS 在智能建筑网络中的位置

该标准第3章《术语和定义》对建筑设备监控系统网络提出以下定义：

1) 开放系统（Open System）。构建在开放的通信协议基础上的系统，各厂商生产的设备之间可以互操作，应用程序在各种平台上运行，一个应用程序能与其他应用程序可互操作，并且与用户交互的方式是一致的。

2) 控制网络（Control Network）。监测传感器、控制执行器、管理网络操作和提供对网络数据全面接入的任何装置的集合。

3) 控制网络通信协议（Control Network Protocol）。提供一套通信服务，使设备能在网上对其他设备发送和接收报文而无需知道网络拓扑、名称、地址或其他设备的功能。

4) 智能设备（Intelligent Device）。一种控制设备，将固体组件整合在一起，执行单一指定的控制循环或功能（如执行器、传感器、开关等）。

5) 共存性（Coexistence）。指两个或两个以上设备，不论其制造商，在同一通信网络中相互独立地运行，或使用相同通信协议的部分或全部一起运行而不影响网络上其他设备的机能的能力。

6) 可互连性（Interconnectability）。指两个或两个以上设备，不论其制造商，使用相同的通信协议和通信接口相互一起运行的能力。

7) 可协作性（Interworkability）。指两个或两个以上设备，不论其制造商，在拥有数据输入、数据输出和参数等数据类型的设备间支持设备参数传送的能力。

8) 可互操作性（Interoperability）。指不同制造商生产的两个或两个以上设备，在一个或多个分布式应用中一起工作的能力。设备的数据输入、数据输出、参数、它们的语义

和设备间相关功能性的应用程序定义之后,如果其中任意一个设备被另一个制造商类似的设备所替换,除了动态响应可能会有不同外,包括被替换设备的所有分布式应用仍会如替换前一样继续运行。

9) 动态响应 (Dynamic Response)。该特性由时间约束来定义,它影响数据或整个设备的行为。例如,过程值的更新速率会影响到控制算法。

10) 可互换性 (Interchangeability)。指不同制造商生产的两个或两个以上设备,在一个或多个分布式应用中使用相同的通信协议和接口一起工作的能力。每个设备的数据和功能性定义之后,如果任意一个设备被替换,包括被替换设备的所有分布式应用仍会如同替换前一样继续运行,包括同样的分布式应用的动态响应。

## 1.2 建筑设备监控系统网络的发展趋势

### 1.2.1 管理层采用互联网 Web Services 技术

在客户机/服务器成为管理层信息网络主流结构的同时,基于以太网和 TCP/IP 通信协议的互联网技术进入建筑设备监控系统。随着互联网应用的多样化、普及化,建筑设备监控系统的管理层已经从 Web 客户机 (Web 浏览器) 和 Web 服务器交流的两层结构,向 Web 浏览器与 Web 服务器交流——Web 服务器与应用程序服务器交流——应用程序服务器与数据库服务器交流的多层结构发展,进而完成建筑设备监控系统与企业管理系统的信息交流、企业管理系统与企业管理系统间的信息交流。而以扩展标记语言 XML (eXtensible Markup Language) 为核心的 Web Services 技术能够使各种不同系统无缝地进行通信和数据共享,是建筑设备监控系统管理层网络集成技术向信息系统过渡的新发展。

Web Services 是指能够通过互联网解决问题、完成一定任务或事物处理的一种服务,是跨平台的程序对程序之间的通信。Web Services 包括 XML、SOAP、WSDL 和 UDDI 四种技术。

XML 和 HTML 都是一种基于文本的标记语言,但是,XML 与 HTML (Hyper Text Markup Language) 不同,HTML 的标记用于表示数据如何显示和表示页面的格式,是显示数据的方法,实现“人与机器”之间的交互界面,还不能用于机器之间的通信,只提供了“人一机界面”的功能;XML 的标记则是用于描述数据的含义,是应用数据处理的方法,主要提供 Web 共享数据交换的内容,显示所封装的数据和结构,可以作为存档和检索的文件,是一种文本形式描述数据信息的“元语言”,不仅人可以读,而且机器也可以读,因此这种元语言所描述的数据,不仅可以在机器之间传输,而且可以被机器所理解,进而可以实现机器与机器之间的通信,实现机器与机器之间的互操作。XML 文件可以通过一定的转换处理,变换成为 HTML 文件,并在 Web 浏览器中显示。

SOAP (Simple Object Access Protocol) 是基于 XML 在分布式环境中交换信息的协议,SOAP 采用 HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) 作为底层的通信协议,以 RPC (Remote Procedure Calling) 远程过程调用和应答作为一致性的调用途径,用 XML 作为数据传输格式,允许服务提供者和服务请求者通过防火墙在 Internet 环境下进行通信交互,SOAP=RPC+HTTP+XML。

WSDL (Web Service Description Language) 是以 XML 格式描述 Web Services 服务请求的标准格式,定义了一套基于 XML 的语法。把 Web Services 描述为能够进行信息交换

的服务访问点的集合,用一种与具体语言无关的抽象方式定义了给定 Web Services 收发有关操作和消息。

UDDI (Universal Discovery Description Integration) 是基于 Web 的分布式的 Web Services 信息注册中心的标准规范,包含访问协议的实现标准,完成 Web Services 注册,使其他节点能够发现和访问这些 Web Services。

企业管理系统 (包括人事系统数据库、CIMS 现代集成制造系统、财务系统、电力/自来水/天然气/供热公司费率实时数据系统、建筑物物业管理系统、热量表数据采集系统等) 通过 Web Services 技术将进一步加强与建筑设备监控系统信息的交互,把控制层信息、现场层信息与企业管理系统信息集成在一起。

### 1.2.2 高端管理层和低端现场层同步发展

#### (1) 高端管理层强化计算机建模与仿真功能

以计算机为节点的管理层信息网络的计算功能将不断得到加强。中央站充分应用计算机功能,包括各种先进语言工具和建立数学模型的能力,提高数据统计能力和运算能力,改进人机接口性能,提供各种先进的节能管理软件、Web 应用程序软件等,依靠数学模型和仿真,可以对建筑设备监控系统进行模拟测试,反映建筑环境受控系统的操作过程和对外部干扰的响应情况,通过由输入变量、输出变量、常数项和算法所建立的能量管理等系统的数学模型,大大加强管理层的工作能力。

#### (2) 低端现场层的现场总线输入输出模块智能化

原来由微控制器 (专用控制器)、变频器和传统仪表为节点的现场层,随着现场总线技术的应用,通用控制器的 I/O 输入输出模块也连接到现场层中。位于控制层的多监控点的通用控制器,受到现场总线技术的影响,从整体式模块化控制器,改变成为由分布式 CPU 模块和分布式 I/O 输入输出模块所组成的现场总线网络控制器,而且其中一些 I/O 输入输出模块技术上进一步发展,利用自身的 SoC 单片系统 (System on Chip),加强了智能化功能,可以无需 CPU 模块的帮助,直接完成简单的时间表控制和联锁控制,自治能力得到加强,这种变化凸显低端现场级分布式 I/O 输入输出模块智能化水平的大幅度扬升,使建筑设备监控系统可靠性进一步提高,在分布式控制方面有了新发展。

### 1.2.3 控制层与现场层在物理层次上统一化

由于控制层和现场设备层全面应用现场总线,采用统一协议的控制层和现场层越来越多,因而物理上趋于一致,可以统称为现场总线网络,或可以称为“底层网络 Infranet”。在一条现场总线上连接通用控制器、专用控制器、各种智能仪表的系统将成为惯例。有时,控制层使用的现场总线协议与现场层使用的现场总线协议虽然不同,但是在物理层和数据链路层的协议是一致的,因而可以同时同一条电缆上运行。

### 1.2.4 PLC 与 DDC 趋于统一

PLC 可编程序控制器与 DDC 直接数字控制器的区别不断减少,兼具二者特长的 HC 混合式控制器应用会越来越多。

### 1.2.5 无线网络技术应用增多

无线网络在建筑设备监控网络的应用中将越来越重要。例如采用基于电子电气工程师协会 IEEE 802.15 标准规定的低速数字通信和低功耗的 ZigBee 无线通信技术 (三种通信速度 250kbit/s、40kbit/s、20kbit/s,设备在休眠状态下耗电量只有 1μW,而一般短距离通讯工作耗电量则是 30mW,在待机模式之下,普通碱性电池可维持 6 个月到 2

年以上的使用时间),主要用于无线传感器和无线执行器的监控网络,已经在建筑设备监控系统中得到应用。Zig-Bee 的通信频道包括全球通用的 2.4GHz ISM 工业、科学、医学免执照通道,美国 915MHz 免执照通道和欧洲 868MHz 免执照通道。

## 2 网络拓扑结构

网络基本上有总线型、环形和星形三种拓扑结构(见图 9.3-2)。而三种拓扑任意组合的网络,则称为自由拓扑网络。

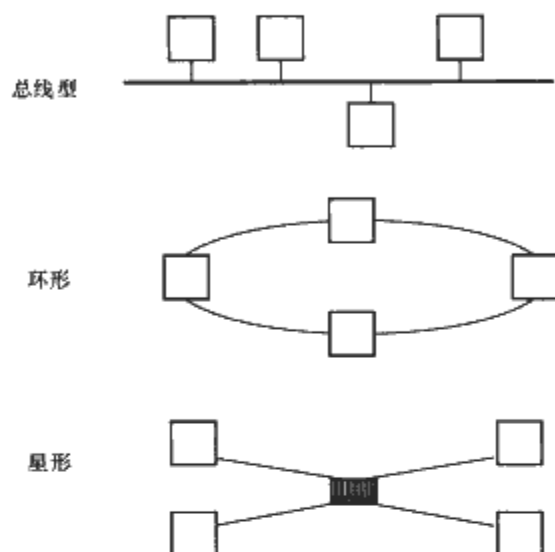


图 9.3-2 三种网络拓扑

### 2.1 总线型

总线型网是建筑设备监控系统主要应用的拓扑结构。

总线型网由一根中心电缆组成网络的主干,各个节点与这条总线相连。数据沿总线传输,每一个节点都监听全部信息,但只读取以该节点为接收地址的信息。

1) 所有节点都通过相应的网络接口连接到作为公共传输介质的总线上。每个节点都监视线路的工作状态。信息经所有节点检测后,由其指定地址的节点接收。

2) 所有节点都可以收、发数据,但一段时间内只允许一个节点利用总线发送数据,当一个节点利用总线以广播方式发送数据时,其他节点可以用收听方式接收数据。发生故障的节点停止通信但并不中断网络操作。

3) 由于传输介质共享,如果同一时间有两个以上节点发送信息,会产生信息碰撞冲突,通常依靠冲突检测或令牌传递的方式来控制通信流量。

4) 总线网拓扑结构简单,易于扩展。

### 2.2 环形

环形网也是建筑设备监控系统使用的网络拓扑结构,尤其在网络可靠性要求较高的场所,例如地铁环境监控系统的管理网,要求使用环形网连接每个车站的中央站。

1) 环形网的节点,安排成环形连接,每个节点在与之直接连接的两个节点之间,最后形成闭环。

2) 数据在环中依次沿一个方向逐节点传送,每个节点接收到信息时,会检测信息的目的地址,如果该地址与节点的地址相符,节点就会接收此信息,否则,就会重新生成此信息,向下一个节点传递。

3) 环形网可以把无法正常工作或有故障的节点旁路出环。

4) 环形网增加新节点比较困难。

### 2.3 星形

星形网是建筑设备监控系统双绞线以太网使用的网络结构,即借助集线器或交换机进行星形连接的总线型以太网,星形网所有节点都连接到中心机器(集线器、交换机),信息以中心机器内部的总线连接方式直接传送到节点。

### 2.4 自由拓扑

自由拓扑允许任意一点和其他节点以总线型、星形、环形或几种拓扑的组合进行连接。自由拓扑可以减少布线的成本。

## 3 网络通信介质

建筑设备监控系统网络通信介质主要指双绞线、同轴电缆和光缆,见表 9.3-1。

表 9.3-1 网络通信介质

电缆种类	双绞线	同轴电缆	光缆
速度	高	高	最高
信息传输长度	较短	中等	最长
成本	低	中等	高

### 3.1 双绞线

双绞线(Twisted Pair wire, TP)是建筑设备监控系统中最常用的一种传输介质。双绞线由两根具有绝缘保护层的铜导线组成。把两根绝缘的铜导线按一定绞接密度互相绞在一起,由于外界干扰引起的感应电流可以互相抵消,所以可降低信号干扰的程度。

双绞线可分为非屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair, UTP)和屏蔽双绞线(Shielded Twisted Pair, STP)。非屏蔽双绞线电缆具有无屏蔽外套、直径小、节省所占用空间,重量轻,易弯曲,易安装,成本低等优点,所以在建筑设备监控系统现场设备数字量信号传输和现场总线信号以及以太网中,首先应该尽量使用非屏蔽双绞线。不过,由于屏蔽双绞线抗干扰能力较强,现场设备 0~10V 或 4~20mA 等直流模拟信号传输以及其他指定使用屏蔽双绞线的场合还都必须使用屏蔽双绞线。

双绞线传输数字信号时,导线电阻影响不大,但是由于双绞线的分布电容和分布电感存在(成为一个滤波器),导致信号传输衰减,从而使其传输的距离与传输速率有关,速率越高,分布电容来不及充放电,会使“0”“1”信号混淆而导致数据帧传输错误。双绞线信号传输距离与传输速率的关系见表 9.3-2。

表 9.3-2 双绞线数字信号传输距离

测试条件	24AWG 铜芯双绞电话电缆(Φ0.51mm), 分布电容 52.5pF/m, 终端电阻 100Ω, 信号损失 6dBV			
数字传输速率 (Mbit/s)	0.1	0.6	1	35
最大传输距离 (m)	1200	200	120	12

#### 3.1.1 国产电缆型号用字母及数字含义

B——固定敷设用电线(电线)



R——连接用软电线  
T——铜导体（省略）  
L——铝导体  
V——聚氯乙烯（PVC）绝缘和护套  
B——扁形  
R——软结构  
P——屏蔽  
70——70℃（省略）  
90——90℃

(1) B——聚氯乙烯绝缘铜芯导线

1) BV：单芯聚氯乙烯绝缘铜芯导线，规格有 BV0.5，0.75，1.0，1.5，2.5，4.0，6.0，10.0。

2) BVR：聚氯乙烯绝缘铜芯软电线。

3) BVS：双绞单芯聚氯乙烯绝缘铜芯导线，规格有 BVS1.0，1.5，2.5。

4) BVV：聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜芯圆型电线，规格有 BVV2×2×1.0，表示聚氯乙烯护套聚氯乙烯绝缘 2 组 2 芯 1.0mm<sup>2</sup> 铜芯电缆。

5) BVVB：聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜芯平型电线。

(2) R——连接用软线

1) RV：多芯聚氯乙烯绝缘铜芯导线（软线），规格有 RV0.5(16×0.2)，0.75(42×0.15)，1(32×0.2)，1.5(30×0.25)，2.5(49×0.25)，4.0(56×0.3)，6.0(84×0.3)，10(84×0.4)。

2) RVB：平型多芯聚氯乙烯绝缘铜芯导线（软线），规格有 RVB2×0.5，2×0.75，2×1.0，2×2.5，2×4.0。

3) RVS：双绞多芯聚氯乙烯绝缘铜芯导线（软线），规格有 RVS2×0.5，2×0.75，2×1.0，2×2.5，2×4.0。

4) RVVB1×2×1.0：聚氯乙烯护套聚氯乙烯绝缘 1 组 2 芯 1.0mm<sup>2</sup> 平型铜芯软线电缆。

5) RVVP1×2×1.0：聚氯乙烯护套聚氯乙烯绝缘 1 组 2 芯 1.0 mm<sup>2</sup> 双绞铜芯软线屏蔽电缆。

(3) A——安装电线（芯数相对较少）

1) AV：聚氯乙烯绝缘铜芯安装电线。

2) AVR：聚氯乙烯绝缘铜芯安装软电线。

3) AVRB：聚氯乙烯绝缘铜芯平型安装电线。

4) AVRS：聚氯乙烯绝缘铜芯双绞安装软电线。

5) AVVR：聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜芯双绞安装软电线。

6) ZR—DYWL：阻燃—低烟无卤。

3.1.2 美国 AWG 铜导线线号直径表（见表 9.3-3）

AWG（American Wire Gauge）是美制电线标准的简称，AWG 线号是按照导线直径大小分级。表 9.3-3 是 AWG 与公制、英制单位的对照表。其中，4/0 表示 0000，3/0 表示 000，2/0 表示 00，1/0 表示 0。例如，常用的电话线为 26AWG，其外径约为 0.4mm。

表 9.3-3 美国 AWG 铜导线线号直径对照表

AWG	外径		截面积 (mm <sup>2</sup> )	电阻值 (Ω/km)
	公制 (mm)	英制 (inch)		
4/0	11.68	0.46	107.22	0.17
3/0	10.40	0.409 6	85.01	0.21
2/0	9.27	0.364 8	67.43	0.26
1/0	8.25	0.324 9	53.49	0.33

续表

AWG	外径		截面积 (mm <sup>2</sup> )	电阻值 (Ω/km)
	公制 (mm)	英制 (inch)		
1	7.35	0.289 3	42.41	0.42
2	6.54	0.257 6	33.62	0.53
3	5.83	0.229 4	26.67	0.66
4	5.19	0.204 3	21.15	0.84
5	4.62	0.181 9	16.77	1.06
6	4.11	0.162 0	13.30	1.33
7	3.67	0.144 3	10.55	1.68
8	3.26	0.128 5	8.37	2.11
9	2.91	0.114 4	6.63	2.67
10	2.59	0.101 9	5.26	3.36
11	2.30	0.090 7	4.17	4.24
12	2.05	0.080 8	3.332	5.31
13	1.82	0.072 0	2.627	6.69
14	1.63	0.064 1	2.075	8.45
15	1.45	0.057 1	1.646	10.6
16	1.29	0.050 8	1.318	13.5
17	1.15	0.045 3	1.026	16.3
18	1.02	0.040 3	0.810 7	21.4
19	0.912	0.035 9	0.566 7	26.9
20	0.813	0.032 0	0.518 9	33.9
21	0.724	0.028 5	0.411 6	42.7
22	0.643	0.025 3	0.324 7	54.3
23	0.574	0.022 6	0.258 8	68.5
24	0.511	0.020 1	0.204 7	89.4
25	0.44	0.017 9	0.162 4	113.6
26	0.404	0.015 9	0.128 1	143
27	0.361	0.014 2	0.102 1	178
28	0.32	0.012 6	0.080 4	227
29	0.287	0.011 3	0.064 7	289
30	0.254	0.010 0	0.050 7	361
31	0.226	0.008 9	0.040 1	451
32	0.203	0.008 0	0.031 6	583
33	0.18	0.007 1	0.025 5	744
34	0.16	0.006 3	0.020 1	956
35	0.142	0.005 6	0.016 9	1200
36	0.127	0.005 0	0.012 7	1530
37	0.114	0.004 5	0.009 8	1977
38	0.102	0.004 0	0.008 1	2400
39	0.089	0.003 5	0.006 2	3000
40	0.079	0.003 1	0.004 9	4080
41	0.071	0.002 8	0.004 0	5385
42	0.064	0.002 5	0.003 2	7000
43	0.056	0.002 2	0.002 5	9544
44	0.051	0.002 0	0.002 0	12 200
45	0.046	0.001 8	0.001 6	16180
46	0.041	0.001 6	0.001 3	20 300

### 3.1.3 使用 UTP 非屏蔽双绞线组成以太网

使用非屏蔽双绞线 UTP 进行以太网组网时,可以参考 2002 年美国标准 ANSI/TIA/EIA—568B《商业建筑电信布线标准》对于综合布线使用的无屏蔽双绞线的技术规范(见表 9.3-4),通常选用 5 类及 5 类以上的双绞线。

表 9.3-4 EIA—568B 非屏蔽双绞线 UTP 标准

双绞线分类号	适用网络	带宽 (MHz)
(1 类线 Category 1)*	语音电话网	1
(2 类线 Category 2)*	令牌环网	4
3 类线 Category 3	令牌环网, 100Base-T2/T4	16
(4 类线 Category 4)*	100Base-T2/T4	20
(5 类线 Category 5)*	100Base-TX	100
超 5 类线 Category 5e	1000Base-T	125
6 类线 Category 6	1000Base-TX	250
增强 6 类线 Category 6A	10G 以太网	500
(7 类线 Category 7STP)*	10G 以太网	600

\* 表示 EIA—568B 标准中未包括 1、2、4、5 类非屏蔽双绞线 UTP 和 7 类屏蔽双绞线 STP。

### 3.1.4 香农 (Shannon) 定理

数学家香农 (Claud Elwood Shannon) 是创建经典信息论的美国科学家,他在 1938 年,首先引入二进制数字“比特” bit (binary digit) 作为信息量的度量单位,每一个“0”或“1”就包含 1bit 的信息。1948 年,香农建立了被称为信息传输基本原理的香农定理。

#### (1) 香农 (Shannon) 定理

1) 香农定理用于分析双绞线带宽与数据传输速率的关系。

#### 2) 香农定理的数学表达式如下

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \quad (9.3-1)$$

式中,  $C$  为最大数据传输速率, bit/s;  $B$  为线路的带宽, Hz;  $S$  为平均信号功率, W;  $N$  为平均噪声功率, W。

信噪比  $S/N$  通常用分贝 dB 表示

$$\text{dB 分贝数} = 10 \lg (S/N) \quad (9.3-2)$$

式中, 分贝 (dB) 的英文为 decibel, 它的词冠来源于拉丁文 decimus, 意思是十分之一, decibel 就是十分之一贝尔。分贝一词于 1924 年首先被应用到电话工程中, 1968 年国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 规定只使用分贝一种单位, 并统一书写为 dB。利用功率关系所确定的电平可以称为功率电平 (需要计量的功率值和功率为 1mW 的零电平功率比较), 用公式描述就是  $\text{dBm} = 10 \lg (P/1) \text{ dBm}$ ,  $P$  代表需要测量的绝对功率值, 单位为 mW; 利用电压关系所确定的电平称为电压电平, 用公式描述就是  $\text{dBv} = 20 \lg (U/0.775)$ ,  $U$  代表需要计量的绝对电压值, 单位为 V, 零电平电压为 0.775V (因为  $1\text{mW} = 0.775\text{V} \times 1.291\text{mA}$ )。

3) 香农定律指出, 当带宽  $B$  一定时, 数据传输速率  $C$  是线路信噪比的函数, 信噪比越大, 数据传输速率越快。

#### (2) 计算实例

1) 6 类双绞线带宽为 250MHz, 当线路信噪比  $S/N$  为 1000 时 (线路通常如此), 其数据传输速度为

$$\begin{aligned} C &= 250 \log_2 (1 + 1000) = 250 \text{M} \times 10 \text{bit/s} \\ &= 2500 \text{Mbit/s} = 2.5 \text{Gbit/s} \end{aligned}$$

2) 只要提高线路信噪比和带宽, 就可以最大限度地提高数据传输速度, 目前市场上已经有综合布线系统厂商改进的 6 类非屏蔽双绞线供应在全长 100m 的线路上速率达到

10Gbit/s 传输能力的以太网。

### 3.1.5 使用 STP 屏蔽双绞线组成以太网

建筑设备监控系统控制网络中, 如果使用屏蔽双绞线 STP 组成以太网 10Base-T 或令牌环网时, 可以参考 IBM 公司 ICS 系列电缆标准, ICS 电缆系列是 IBM 公司为其令牌环网络设计的, 也可以用于一般布线。IBM 公司定义了 9 种类型电缆, 主要是双绞线, 也包括光缆, 但是不包括同轴电缆。表 9.3-5 只列出屏蔽双绞线 STP 的有关内容。

表 9.3-5 IBM 屏蔽双绞线 STP 标准

电缆分类号	适用网络	带宽
1 类线	4Mbit/s 令牌环网 10Base-T	20MHz
2 类线 (室内使用)		
6 类线 (短距离连接)		
8 类线 (地毯下平板电缆)		

### 3.1.6 双绞线特性阻抗 $Z_0$ 计算 (Characteristic Impedance)

在高频或高速数据传输电路中, 负载阻抗需要与线路特性阻抗匹配, 即负载阻抗与特性阻抗相等, 信号才能顺利传输。也就是说, 当数据信号在传输线中传输, 欲进入接受元件 (如 CPU 或存储器等大小不同的电子电路) 中工作时, 则该信号线本身所具备的“特性阻抗”, 必须要与终端元件内部的电子阻抗相互匹配才不致工作失败。阻抗匹配能够使数据信号传输“正确执行指令, 减少杂音干扰, 避免错误动作”。一旦彼此未能匹配, 则会有少许能量回头朝向“发送端”反弹, 进而形成反射噪声等问题, 所以特性阻抗是高速数字传输电路必须注意的问题。

高频波段线路, 电阻可以忽略, 其特性阻抗  $Z_0$  与频率无关, 完全取决于电缆的电感  $L$  与电容  $C$ , 计算公式为

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \quad (9.3-3)$$

式中,  $Z_0$  为电缆特性阻抗,  $\Omega$ ;  $L$  为单位长度电缆电感, H/m;  $C$  为单位长度电缆电容, F/m。

根据单位长度电容电感的计算公式, 可以推导出双绞线特性阻抗计算公式为

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \lg \frac{2D}{d} \quad (9.3-4)$$

式中,  $Z_0$  为双绞线特性阻抗,  $\Omega$ ;  $\epsilon_r$  为介质材料的相对介电常数, 1;  $D$  为两根平行导线 (芯线) 的中心距, m;  $d$  为导体的直径, m。

增加两芯线间距离或减小芯线的直径, 都会增大特性阻抗, 减小两芯线间距离或加大芯线直径, 都会减小特性阻抗。

例: 当介质材料为聚苯乙烯时,  $\epsilon_r = 2.6$ , 铜导体直径  $d$  为 1mm、中心距  $D$  为 2mm 的双绞线的特性阻抗  $Z_0$  为

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \lg \frac{2D}{d} = \frac{276}{\sqrt{2.6}} \lg \frac{2 \times 2}{1} = 103 \Omega$$

## 3.2 同轴电缆

### 3.2.1 概述

同轴电缆 (Coax) 以硬铜线为芯, 外包一层绝缘材料。这层绝缘材料用密织的网状导体环绕, 网外又覆盖一层保护性材料。有两种广泛使用的同轴电缆: 一种是特性阻抗 50 $\Omega$  的电缆, 如 RG—8、RG—58 等, 用于数字信号基带传输, 也叫基带同轴电缆; 另一种是特性阻抗 75 $\Omega$  的电缆, 用于模拟信号传输, 例如电视电缆。同轴电缆可分为细同轴电缆 (Thin Coax) 和粗同轴电缆 (Thick Coax)。细同轴电缆外

径约5mm,粗同轴电缆外径约10mm。粗缆适用于比较大型的局部网络,它的传输距离长、可靠性高。由于安装时不需要切断电缆,因此可以灵活调整计算机的入网位置,但粗缆网络必须安装收发器和收发器电缆,所以安装难度大,因而总体造价高。细同轴电缆安装比较简单,造价低,但由于安装过程要切断电缆装上T接头,所以当接头多时容易产生接触不良的隐患,这是目前运行中的以太网所发生的最常见故障之一。为了保持同轴电缆的正确电气特性,电缆屏蔽层必须接地。同时两端要安装特性阻抗终端器来削弱信号反射作用(特性阻抗匹配器)。

### 3.2.2 同轴电缆特性阻抗 $Z_0$ 计算 (Characteristic Impedance)

用于高速数据传输电路的同轴电缆,同样必须注意阻抗匹配问题。即负载阻抗与同轴电缆特性阻抗相等,信号才能顺利传输,否则,会产生信号反射噪声。同轴电缆的特性阻抗  $Z_0$  与频率无关,  $Z_0$  完全取决于同轴电缆的电感  $L$  与电容  $C$ , 计算公式为

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \quad (9.3-5)$$

式中,  $Z_0$  为同轴电缆特性阻抗,  $\Omega$ ;  $L$  为单位长度同轴电缆电感, H/m;  $C$  为单位长度同轴电缆电容, F/m。

根据单位长度电容电感的计算公式,可以推导出同轴电缆特性阻抗计算公式为

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \lg \frac{D_1}{D_2} \quad (9.3-6)$$

式中,  $Z_0$  为电缆特性阻抗,  $\Omega$ ;  $\epsilon_r$  为介质材料的相对介电常数 ( $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ ), 1;  $D_1$  为外部导体的内径(屏蔽部), m;  $D_2$  为内部导体(芯线)的外径, m。

同轴电缆只要外部导体和内部导体直径保持一定的比例关系,不论电缆粗细,其特性阻抗不变。

例:当介质材料为聚氯乙烯 PVC 时,  $\epsilon_r = 4.45$ , 内部圆形截面导体外径  $D_2$  为 0.8mm、外部导体内径  $D_1$  为 4.65mm 的同轴电缆的特性阻抗  $Z_0$  为

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \lg \frac{D_1}{D_2} = \frac{138}{\sqrt{4.45}} \lg \frac{4.65}{0.8} = 50.0\Omega$$

## 3.3 光缆

光纤是一种细小、柔韧并能传输光信号的传输介质,相对于其他传输介质来说,光纤具有传输距离长、传输速率高、安全性好等特点。主要适用于长距离、大容量、高速度的场合,如建筑设备监控系统以太网网络的主干线等。

建筑设备监控系统网络中的光纤主要是采用石英玻璃制成的横截面积较小的双层同心圆柱体。裸光纤由纤芯和包层组成,折射率高的中心部分叫做纤芯,折射率低的外围部分叫包层。为了保护光纤表面,防止断裂,提高抗拉强度并便于应用,一般在一束光纤的外围再附加一保护层,这层保护层即为光缆的外套。

在使用光缆互联多个节点的应用中,必须考虑光纤的单向特性,如果要进行双向通信,就要使用两根光纤。光纤通信系统是以光波为载体、光导纤维为传输介质的通信方式。这种通信方式起主导作用的是光源、光纤、光发送机和光接收机。

## 4 建筑设备监控系统网络三层结构

### 4.1 欧洲标准 CEN/TC 247 网络三层结构

1990 年成立的欧洲标准 TC 247 建筑自动化、控制与建筑管理技术委员会 (Building Automation, Controls and

Building Management), 负责制定有关建筑自动化的各种标准(见图 9.3-3), 包括建筑物自动化产品和系统的定义、要求、功能、测试方法、集成接口等。TC 247 下设 6 个专业组:

- 1) WG1 采暖控制。
- 2) WG2 独立区域暖通空调控制。
- 3) WG3 自动化与控制。
- 4) WG4 开放数据传输。
- 5) WG5 建筑管理。
- 6) WG6 房间自动化。

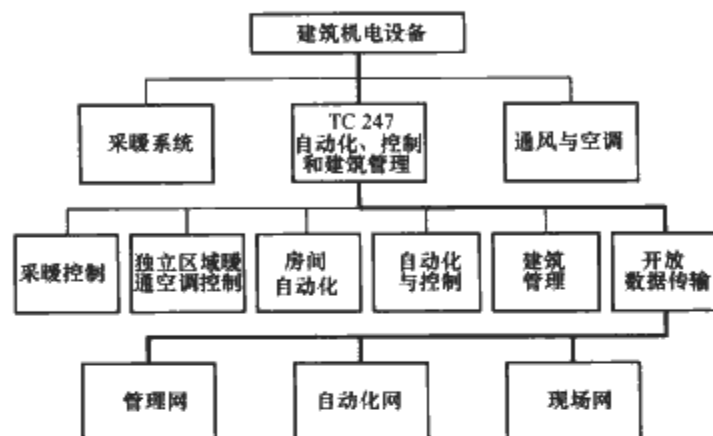


图 9.3-3 TC 247 建筑机电设备监控系统

其中, WG4《开放数据传输 (Open Data Transmission)》组规定了建筑设备监控系统网络的三层结构(见图 9.3-4), 还推荐了不同层次中的应用的 7 种通信协议(见表 9.3-6)。

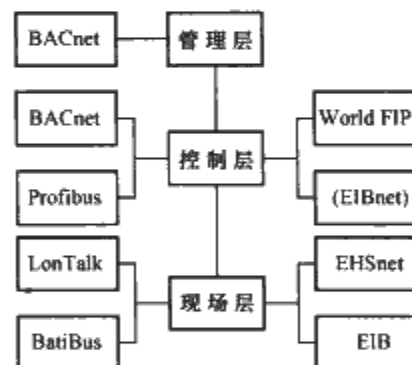


图 9.3-4 TC247WG4 建筑设备监控系统网络三层结构

表 9.3-6 欧洲标准 TC 247WG4 推荐的通信协议

通信协议	英文原文(内容分别见各个有关章节叙述)
BACnet	A Data Protocol for Building Automation and Control Networks
Profibus FMS	Processfilebus Fieldbus Message Specification
World FIP	World Factory Instrumentation Protocol
LonTalk (Lon Mark)	Lon Works Protocol
KNX	BatiBus
	EIB
	EHS

在该标准所推荐的通信协议中,由于 KNX (EIB+Bati-Bus+EHS) 包括与 BACnet 的映射技术(国际标准 ISO 16484—5, BACnet—KNX—Mapping), 因此 7 种通信协议只有 BACnet 标准能够涵盖建筑设备监控系统 TC 247 规定的所有三个网络层次: 管理层、控制层和现场层。

### 4.2 中国行业标准 JGJ 16—2008 网络三层结构

中国行业标准《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—

2008)第18章《建筑设备监控系统》规定的建筑设备监控系统网络结构如图9.3-5所示,网络共三层,分别是管理层(信息层)、控制层(自动化层)和现场层(仪表层),每层逻辑功能不同、相对独立。但是网络的物理结构则可以根据具体产品特点在三层连接结构的基础上,按照节点连接的方法,分别变化为三层、两层或一层,例如全以太网的建筑设备监控系统就是一层结构,但是从逻辑上分析,依然包括了管理层、控制层和现场层。

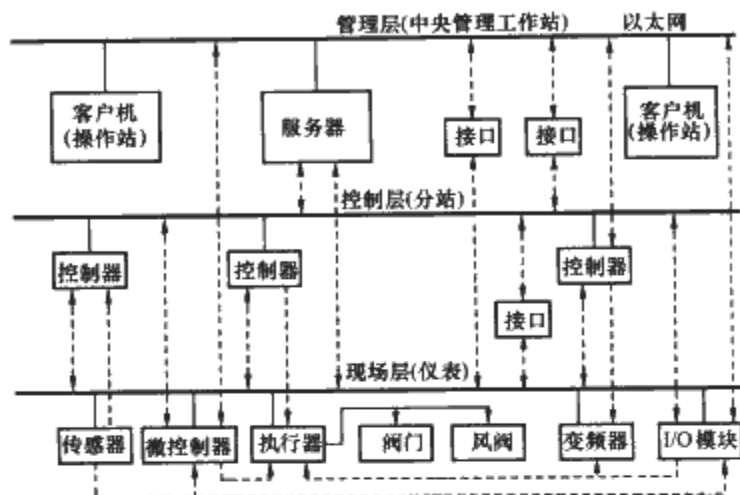


图 9.3-5 JGJ 16—2008 建筑设备监控系统三层逻辑结构

## 5 以太网和互联网

建筑设备监控系统管理层都采用以太网。

建筑设备监控系统的控制层和现场层控制网络也有采用以太网的产品。

以太网数据网络的主要功能是中央站工作人员对网络数据流的反应和操作,所以以太网管理层是建筑设备监控系统的数据中心。以太网控制网还要考虑过程控制对实时性以及现场环境对设备较高的要求。

互联网 Internet 是以太网与 TCP/IP 网络通信协议结合的产物,建筑设备监控系统采用互联网技术是网络时代的要求。

### 5.1 以太网

#### 5.1.1 以太网发展史

以太网(Ethernet)是指采用 CSMA/CD 通信介质访问协议的总线型局域网。

CSMA/CD 协议源于 20 世纪 60 年代美国夏威夷大学 Norman Abramson 教授开发的用于无线通信系统数据包传送的通信技术“Aloha”(夏威夷语“Hello”),Aloha 包括两个部分:第一个部分称为 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)载波侦听/冲突检测介质访问协议:在传送信息之前,首先监听信息通道是否有信息正在传送,如果没有,就发送一帧信息,再监听通道输出是否发生了冲突,如果有冲突,则等待一段随机的时间然后重发,这就是“信道争用系统”;第二个部分是把数据分解成“帧”发送,形成后来的分组交换网络理论基础。1972 年,美国哈佛大学 Bob Metcalfe 在局域网范围内,以 2.94Mbit/s 的速度用 CSMA/CD 介质访问协议实现了世界上第一个超过 100 台微计算机联网的局域网,1973 年, Bob Metcalf 把它称为以太网“Ethernet”,表示这种局域网支持不同种类计算机联网。1980 年,采用这种 CSMA/CD 的 50Ω 同轴电缆的总线网被 DEC-Intel-Xerox(DIX)三个公司规定为以太网企业标准(见表 9.3-7),1985 年被 1980 年 2 月成立的局

域网国际标准委员会制定的 IEEE 802 标准中的 802.3 规定为 CSMA/CD 总线局域网的介质访问方法和物理层技术标准,它描述了用于 10Mbit/s 基带网络的物理层和 MAC 介质访问层;之后,1990 年发布的 10Base-T,在双绞线上实现了 10Mbit/s 的数据传输,是以太网发展史上的里程碑;同年,另一个重要事件是 ISO/IEC 8802.3 标准提供了对传输协议 UDP 的支持,UDP 协议比 TCP 协议通信简单,非常适合建筑设备监控系统的以太网使用,随后,以太网速度不断提升,1995 年规定了 100Mbit/s 的 100Base-T 双绞线以太网,1998 年规定了 1000Mbit/s 的 1000Base-T 双绞线以太网,直至 2002 年规定了 10GBase-T,已经有近 20 种以太网。

表 9.3-7 DIX 以太网标准(1980 年)

操作特性	速率(Mbit/s)	访问协议	信号方式	数据编码	网段长度	操作站/网段	介质	拓扑
以太网	10	CSMA/CD	基带	曼彻斯特	500m	100	50Ω 同轴电缆	总线

以太网已经成为现在应用最广的网络,占有局域网 90%以上的份额。另外三种局域网通常是指令牌总线网 IEEE 802.4、令牌环网 IEEE 802.5 和无线网 IEEE 802.11。

#### 5.1.2 ISO/OSI 开放系统 7 层互连参考模型(ISO/IEC 7498)

1983 年,国际标准化组织 ISO(International Standard Organization)制定了有关网络系统通信的分层次的七层开放系统互连参考模型 OSI(ISO/IEC 7498),Open System Interconnection Reference Model。参考模型按照七种功能描述了通信设备如何进行互连的任务,规定了每层必须执行的功能。参考模型的关键是互连,使信息通过互连进行传送(见图 3.9-6)。

OSI 模型的每一层都负责某种行动或服务,把服务、接口、协议分得清清楚楚。每一层都为它的上一层执行一些服务,说明该层应该做些什么;每一层接口告诉它的上面的进程如何访问这一层;每一层可以使用任何协议,不会影响它上面各层。

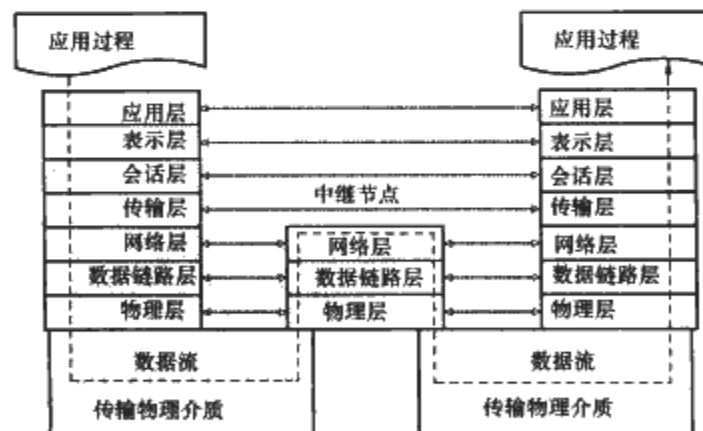


图 9.3-6 OSI 参考模型图(ISO/IEC 7498)

#### 5.1.3 以太网技术参数

以太网在 OSI 参考模型的最低两层工作:物理层、数据链路层。

基于 ISO/IEC 8802.3 局域网标准,同轴电缆以太网 10Base-2 和 10Base-5 使用总线型拓扑结构,双绞线以太网 10/100/1000Base-T 使用星形拓扑结构。以太网使用带冲突检测的载波侦听多路复用 CSMA/CD 介质访问方法进行线路上的数据流动。网络节点之间通过同轴电缆、光纤或双绞线实现互联。信息进行广播发送,以便每个节点都可以收到

信息（见表 9.3-8）。建筑设备监控系统主要使用双绞线以太网。

表 9.3-8 ISO/IEC 8802.3 以太网技术参数

特征	10Base-2	10Base-T	100Base-TX	1000Base-T
传输介质	50Ω 细同轴	2 对 3 类 UTP	2 对 5 类 UTP	4 对 5 类 UTP
拓扑	总线	星 形		
编码方式	曼彻斯特		4B5B	8B1Q4
网络最大节点数	1024			
每段距离 (m)	185	100	100	100
数据速度 (bit/s)	10M	10M	100M	1000M

5.1.4 ISO/IEC 8802.3 规定的以太网数据帧格式（见表 9.3-9）

表 9.3-9 ISO/IEC 8802.3 帧格式 单位：B

前序	帧起始分界符	目的地址	源地址	长度	数据	帧校验序列
7	1	2~6	2~6	2	46~1500	4

注 最小帧长度为 64 字节。

5.1.5 以太网 5—4—3 规则

1) 使用中继器 (Repeater) 延长同轴电缆 10Base-2/10Base-5 以太网时，为避免增加信息传送产生过多的冲突，ISO/IEC 8802.3 规定最多只可以使用 4 个中继器连接 5 个以太网网段，即分组数据从发送到达目的地址之前可以通过的最大网段数为 5 个。10Base-5 每段 100 个节点，长度  $5 \times 500 = 2500\text{m}$ ，10Base-2 每段 30 个节点，长度  $5 \times 185 = 925\text{m}$ 。“3”表示可以连接计算机的高通信密度网段数量，5 个网段中有 2 个不能连接计算机的仅用于延伸以太网长度的低通信密度网段，每个大型以太网网络可以有 1024 个节点，有时也可称为 54321 规则。

2) 100Mbit/s 以太网不适用 5—4—3 规则。

3) 10BaseT 双绞线以太网使用集线器 (Hub) 组网时，遵守 5—4—3 定律，每个网段 100m，最多 5 个网段，4 个集线器，所以网络最大范围为  $5 \times 100\text{m} = 500\text{m}$ 。

5.1.6 普通以太网

管理层以太网数据网络的网络设备可以按照普通以太网进行设备配置，不需要按照工业以太网的要求。因为建筑设备监控系统中央控制室通常按照计算机房标准设计，环境条件比较好。

5.1.7 实时以太网

建筑设备监控系统中的实时以太网，是指在控制层和现场层使用的以太网。由于以太网设备安装在现场，所以对以太网实时性和通信接口的材质选用、结构强度、连接件可靠性等方面要有适当的考虑（见表 9.3-10）。尤其在现场环境比较恶劣时的情况更应如此（例如工业建筑环境）。

表 9.3-10 工业环境对设备的最低要求

测 试	指 标	标 准
振 动	频率	10~500Hz
	加速度（运行时）	5g
	位移	0.304 8mm
冲 击	加速度（运行时）	30g
	加速度（未运行）	50g
温 度	运行	0~60℃
	储存	-40~85℃

续表

测 试	指 标	标 准
湿度	5%~95%RH	IEC 60529
密封	最低 IP20	
工频交流电压试验 (仅用于连接器)	接头对接头	峰值 1000V
	接头对测试版	峰值 1500V

IEC 60512—1

普通以太网标准只规定了以太网的物理层、数据链路层规范，而 TCP/IP 协议作为基于以太网的互联网标准，只规定了网络层与传输层规范，包括 IP 的网络连接和基于 TCP（包括 UDP）的数据传送控制。所以仅仅采用以太网 + TCP/IP 协议不能完全解决工业开放系统之间的信息控制交互问题。要解决基于以太网的工业网络的现场设备之间的互操作性问题，必须在以太网、TCP(UDP)/IP 协议的基础上，再制订统一的并适用于工业现场控制的应用层服务和协议。

国际标准 IEC 61784—2 “测量与控制数字数据通信——实时应用中的基于 ISO/IEC 8802—3 以太网通信网络的附加行规”（Digital data communication for measurement and control Part 2: Additional profiles for ISO/IEC 8802—3 based communication networks in real time applications），就是为满足工业自动化市场需求，通过定义实时以太网需求的分类框架和基于普通以太网、IEC 61784—1（连续与离散制造行规）、IEC 61158（工业控制现场总线）、实时以太网公共可用规范（Publicly Available Specification）和相关网络组件的工业实时以太网的应用行规，这个行规同时规定实时以太网 RTE（Real Time Ethernet）不应改变 ISO/IEC 8802—3 以太网通信网络、相关网络组件，但可在一定程度上进行修改，使之满足实时行为的需要，包括：①实时性，即确定性通信；②现场设备之间的时间同步行为；③充分、频繁的短长度数据交换。这些用来支持在控制器之间甚至在现场设备仪表与控制器之间的工业通信采用以太网技术，从而支持现场区域的直接互联网访问能力。

所谓实时以太网，是从最终用户和制造商对实时以太网需求出发，定义一些相关的性能指标，以反映实时以太网通信网络的能力。这些性能指标包括：交付时间（Delivery time），端节点数（Number of end nodes），基本网络拓扑（Basic network topology），端节点间交换机的数量（Number of switches between end nodes），RTE 吞吐量（Throughput RTE），非 RTE 吞吐量（Throughput non-RTE），时间同步精确度（Time synchronization accuracy），冗余恢复时间（Redundancy recovery time）等。

作为实时以太网，通常应该具有以下特点：

1) 较好的信息响应实时性（ms 级）。例如 ProfiNet 为了满足运动控制小于 1ms 协议时间的要求，在以太网第 2 层嵌入同步实时交换芯片 ERTEC，比目前的建筑设备接口系统总线 Profibus FMS 实时性性能提高了 100 倍，使 ProfiNet 达到了管理层 1000ms、控制层 100ms、现场层 10ms 的实时特性。

2) 较理想的抗电磁干扰能力（静电放电、辐射干扰、快速瞬态脉冲、浪涌电压、传导干扰、瞬间瞬断电压）。

3) 较好的机械结构以适应恶劣的工业环境（振动、潮湿、高温、灰尘、水淋、防冻、耐腐、防爆）。

5.2 互联网

5.2.1 网络通信协议

对信息在网络上传输的顺序、格式和内容等的一套预先



续表

时间 (年)	主要创立者	内 容
1985		开发了文件传输协议 FTP
1986	美国国家科学 基金会	建立民用互联网 NFSNET, 与军用 ARPA 网连接
1988		开发了 TCP 通信拥堵控制软件
1990	美国国家科学 基金会	形成以 NFSNET 为主的网络建立了 100 000 个节点以上的网络, 军用 ARPA 网退役
1990~2000 Web 大发展带来互联网大发展		
1989	Tim Berners- Lee	建立 HTML、HTTP、WWW
1991	互联网正式 登场	NFSNET 退出, Internet 互联网商业化
1994	Illinois 大学 NCSA	开发了 Mosaic, 是最早的 Web 浏览器
1995	Andreessen	开发了 Netscape Navigator, Web 浏览器
2000s		500 万台以上计算机联网, 主干网速度达到 Gbit/s

定义的规则称为通信协议。

协议主要功能包括: 信息分段和重装、数据打包、连接控制、命令传递、流量控制、错误控制、同步、寻址、多路技术、传输服务。

协议含有三个要素: 语义、语法和时序。语义即需要发出何种控制信息以及完成的动作与做出的响应; 语法即用户数据与控制信息的结构和格式; 时序即对事件顺序的说明。

### 5.2.2 TCP/IP 互联网网络通信协议

互联网是以太网与 TCP/IP 网络通信协议结合的产物, 开创了网络时代。

1973 年, 美国 Vinton Cerf 和 Robert Kahn 开发了 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 网络通信协议, 即互联网网络通信协议。TCP/IP 是一个协议集, 其中最重要的是 TCP 和 IP, 所以称为 TCP/IP。传输控制协议 TCP 规定了传输信息如何分层、分组和在线路上传输。网际协议 IP 定义了 Internet 上计算机之间的路由选择, 把各种不同网络的物理地址转换成为 Internet 的地址。

1986 年美国国家科学基金会建立了使用 TCP/IP 通信协议的民用互联网, 成为一个世界规模大型互联网络, 特别是 1989 年 Tim Berners-Lee 在网上使用“链接 Links”方式, 创建了 http://www 以来, 使得互联网节点以惊人的速度发展, 从此, 数以亿计的电脑联系在一起, 构筑了空前的网络时代。Tim Berners-Lee 被美国时代杂志评为 20 世纪 20 个顶级思想家之一, 并获得芬兰共和国 100 万欧元的千年技术成就奖。互联网也影响了建筑设备监控系统, 1999 年 1 月, 美国 ASHRAE 暖通空调工程师学会 SPC135 标准技术委员会对建筑设备监控系统通信协议标准 BACnet 补充了采用全 IP 地址网络技术的 BACnet IP 标准; 2005 年 12 月, 美国 LonMark 协会发布的文件 LonMark Facility Automation System Master Specification Division15 (15950) 明确规定 LonWorks 现场总线网络必须提供互联网技术 Web Servers 作为与现场控制设备的接口。

互联网发展史见表 9.3-11。

表 9.3-11 互联网发展史

时间 (年)	主要创立者	内 容
1961~1970 早期阶段包交换理论		
1961	Kleinlock	提出排队理论, 显示数据包交换效率高
1964	Baran	在军用网络上采用包交换
1969	美国国防部	4 个节点的军用 ARPA 网成功
1972~1980 互联网 Internet 诞生		
1970	Abramson	ALOHA net; CSMA/CD 和帧传递, 信道争用和包交换
1973	Metcalf	以太网: CSMA/CD+ 同轴电缆总线网
1980	DEC-Intel-Xe- rox 三公司	建立 10Mbit/s 同轴电缆以太网标准 DIX- Ethernet
1974	Cerf 和 Kahn	开发了 TCP/IP 和建立 Internet 互联网 结构
1980~1990 新通信协议和 Internet 互联网成长		
1982		美国国防部规定 TCP/IP 是所有军用网络互 连的通信协议
1982		开发了电子邮件通信协议 SMTP/POP
1983		开发了域名服务器 DNS

### 5.2.3 TCP/IP 互联网与 ISO/OSI 开放系统互连模型对比

图 9.3-7 表示出 TCP/IP 互联网与 ISO/OSI 7 层模型的分层对比, TCP/IP 互联网由 4 层组成, 分别是应用层、传输层、网际层和网络接口层。

OSI 7 层	TCP/IP 4 层
5~7	应用层 HTTP SMTP POP DNS BACnet LonWorks Profibus Modbus
4	传输层 TCP UDP
3	网际层 IP
2	网络接口层 IEEE 802.2 逻辑链路控制 LLC 子层; ARP (MAC 物理地址与 互联网 IP 地址解析协议) RARP (逆地址解析协议) 介质访问控制 MAC 子层: IEEE 802.3 以太网 CSMA/CD IEEE 802.4 令牌总线 Token Bus IEEE 802.5 令牌环 Token Ring IEEE 802.12 100VG-AnyLAN
1	网络接口层 连接器 (RJ45, DB9, SC, ST); 介质 (屏蔽双绞线、非屏蔽双绞线、光缆); 编码

HTTP	Hyper Text Transport Protocol	超级文本传输协议
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol	电子邮件传输协议
POP	Post Office Protocol	邮局协议
DNS	Domain Name System	域名管理
BACnet	Building Automation & Control net	建筑自动化及控制网协议
LonWorks	Local Operating Network Protocol	局域网控制网协议
Profibus	Process Field Bus Protocol	过程控制现场总线协议
Modbus	Modicon PLC Bus	Modicon PLC 总线协议
TCP	Transmission Control Protocol	传输控制通信协议
UDP	User Datagram Protocol	用户数据报通信协议
IP	Internet Protocol	网际通信协议

图 9.3-7 TCP/IP 互联网 4 层通信模型

#### (1) 应用层

应用层包括建筑设备监控系统的现场总线通信协议, 例如 BACnet、LonWorks、ModBus、Meter Bus 等。在 OSI 通信模型中, 对应 7 层 OSI 模型第 5~7 层 (会话层、表示层和应用层) 的所谓高三层, 是应用服务层; 与 OSI 第 4~1 层面面向通信不同, 应用服务层面面向数据处理, 让应用程序访问网络, 完成建筑设备监控系统各种工作任务, 例如 BAC-



net 建筑自动化与控制网通信协议所包括的所有应用程序和任务,如数据处理、信息传输等。

应用层上的网络服务和高层协议,还包括域名服务 DNS、浏览器服务器通信协议 HTTP、终端仿真协议 Telnet、文件传送协议 FTP、简单邮件传送协议 SMTP 发送 E-mail、POP3 协议和 internet 信息访问协议 IMAP、简单网络简理协议 SNMP 等。

### (2) 传输层 TCP 和 UDP

TCP 和 UDP 对应 7 层 OSI 模型的第 4 层传输层,该层处于高 3 层(应用服务层)与低 3 层(通信网络层)之间,是关键层,将待发的数据包编号,存放在数据包中,由低层分发出去,而接收端的传输层检查数据包的序号以确定数据是否都发送过来,并按时间表的顺序正确接收。传输层为上面的会话层服务,使用下面的网络层发现源与目的地之间的路由。信息以数据包形式存在,并确保信息可靠传输。

### (3) 网际层 IP

网际层 IP 对应 7 层 OSI 模型的第 5 层,是 OSI 网络层,或者说是通信网络的最高层。网络层也称为数据包层(Packet Layer),任务是确定网络地址,寻找发送节点与接收节点之间的通路,在两个节点之间建立和维持逻辑连接,以便通信。网络层之下的数据链路层,对数据进行处理并将其传送出去。网络层的服务保证传输层中数据的正确传送。信息形成数据帧 Frame 数据,进行网际传输。

由 32 位数据构成的 IP 地址是 IPv4 版本,最大可以覆盖的地址范围是 2 的 32 次方,约 43 亿个地址,但是由于 IPv4 是根据网络大小进行地址分配(分成 A 至 E 的 5 类),地址被划分为网络部分和主机部分以及地址还需要按类分配,所以目前 IP 地址已经不足。在 1994 年 7 月 25 日 IETF(Internet Engineering Task Force)的 Toronto 会议上被称为“下一代互联网通信协议 Next Generation Internet Protocol”的采用 128 位数据来表示 IP 地址的新方案 IPv6 诞生,简称 IPng,新协议于 1994 年 11 月 17 日作为建议标准(Proposal Standard)被 Internet Engineering Steering Group 批准,IPv6 的核心内容于 1998 年 8 月 10 日由 IETF 完成草案,这种使用 128 位数据和无类型域间路由的不分类的网络号分配的 IPv6,几乎可以分配无限多的地址供互联网使用。

### (4) 网络接口层

网络接口层对应 7 层 OSI 模型的第 2 层和第 1 层。信息在第 2 层形成字节数据,在第 1 层形成位数据,提供与物理层硬件的接口和定义通信媒体的物理特性。

## 6 现场总线

建筑设备监控系统可以看成是数据网络和控制网络的结合体,尽管它们在逻辑上是三个层次:管理层、控制层和现场层。数据网络全部使用以太网(管理层),控制网络(控制层和现场层)使用各种现场总线。

### 6.1 建筑设备监控系统现场总线

#### (1) 建筑设备监控系统现场总线技术

现场总线技术是应用在现场的测量设备、控制设备之间的实现双向多节点数字通信的开放型控制网络技术;现场总线网络是建筑设备监控系统的基础网络,是建筑设备监控局域网;现场总线基本特点是强调开放,第三方同类产品可以互相操作,直至互换。

#### (2) 建筑设备监控系统现场总线和 RS485

1) 现场总线发展史:20 世纪 70 年代 Modbus,80 年代

World FIP,90 年代 LonWorks、BACnet、KNX、Profibus、Meter Bus。

2) 现场总线的 ISO/OSI 通信模型都至少包括 1、2、7 三层。

3) 现场总线相当一部分采用轮询式通信,例如 BACnet MS/TP、Modbus、Meter Bus、Profibus FMS(控制器与传感器、执行器、I/O 模块之间),这类总线比较适用于传感器、执行器和专用控制器的现场层,有一部分现场总线使用 CSMA 争用式通信,例如 BACnet IP,这类总线适于扩展到控制层和管理层应用。使用令牌式通信的现场总线较少,例如 Profibus FMS(控制器与控制器之间),令牌总线采用总线拓扑结构,信息传输确定性好、可靠性高。

4) 双绞线是主要通信介质。

5) 物理层协议主要使用 RS485 或与 RS485 类似的总线。

RS485 采用平衡式发送、差动式接收的数据收发器来驱动总线,接收器 R 的输入电阻  $R_{in} \geq 12k\Omega$ ,驱动器 S 能够输出  $\pm 7V$  的共模电压,输入端电容  $C_{in} \leq 50pF$ ,在节点数为 32 个、配置终端电阻  $120\Omega$  时,驱动器 S 至少还能输出电压  $1.5V$ (终端电阻的大小与所用的双绞线的参数有关),接收器 R 的灵敏度为  $200mV$ ,即  $(V_+) - (V_-) \geq 0.2V$ ,表示信号“0”, $(V_+) - (V_-) \leq -0.2V$ ,表示信号“1”。在设计 RS485 总线网络配置而考虑总线长度和负载个数时,应该考虑三个参数:纯阻性负载、信号衰减和噪声容限。此外,还要考虑分布电容对 RS485 总线传输性能的影响,分布电容中的电荷可能由于来不及充放电,而造成数据传输错误,如果产生问题,只有降低数据传输的速度和采用分布电容小的电缆加以解决(见图 9.3-8 和表 9.3-12)。

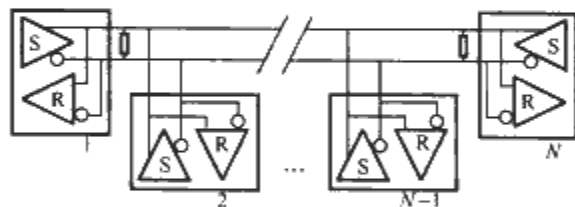


图 9.3-8 RS485 拓扑结构

表 9.3-12 RS485 与 RS232/RS423/RS422 的比较

参 数	RS232	RS423	RS422	RS485
差动式接收	不是	不是	是	是
驱动器 S 最大个数	1	1	1	32
接收器 R 最大个数	1	10	10	32
工作模式	双工	半双工	半双工	半双工
最大传输距离(m)	15	1200	1200	1200
12m 时的数据传输速度(bit/s)	20k	100k	10M	35M
1200m 时的数据传输速度(bit/s)	(1k)	1k	100k	100k
接收器 R 输入电阻(kΩ)	3~7	≥4	≥4	≥12
驱动器 S 负载阻抗(kΩ)	3~7	≥0.45	0.1	0.054
接收器 R 输入灵敏度(mV)	±3 000	±200	±200	±200
接收器 R 输入范围(V)	±15	±12	±10	-7~12
驱动器 S 最大输出电压(V)	±25	±6	±6	-7~12
驱动器 S 最小有载输出电压(V)	±5	±3.6	±2	±1.5

#### (3) 建筑设备监控系统常用现场总线汇总

根据国际标准 ISO/TC205WG3《建筑设备监控系统设计》的推荐标准和目前中国市场产品使用情况,以英文字母排列顺序列出 BACnet 等 7 种现场总线的性能比较,见表 9.3-13。

表 9.3-13 建筑设备监控系统常用现场总线一览表

总线名称	BACnetMS/TP	KNX-EIB	LonWorks	Meter Bus	Modbus	Profibus-FMS	WorldFIP
国际标准	ISO 16484	EN 13321	EN 14908	EN 1434—3	IEC 61158—15(TCP)	IEC 61158—3/10	IEC 61158—7
中国标准			GB/Z 20177—2006		GB/T 19582—2008	GB/T 20540—2006	
产生年代	1995	1998	1991	1997	1979	1996	1987
ISO 通信模型层数	1,2,3,7	1,2,3,4,7	1,2,3,4,5,6,7	1,2,3,7	1,2,7	1,2,7	1,2,7
通信介质	屏蔽双绞线	屏蔽双绞线	双绞线光缆 电力线无线	双绞线	屏蔽双绞线	屏蔽双绞线光缆	屏蔽双绞线
介质访问方法	主从轮询+令牌传送	CSMA/CA	可预测 P 坚持 CSMA/CD	主从轮询	主从轮询	令牌总线+主从轮询	总线裁决
物理层协议	RS485	EIB 物理连接	LonWorks 物理连接	M-Bus 物理连接	RS485	RS485	WorldFIP 物理连接
常用通信速度(kbit/s)	76.8	9.6	78	2.4	9.6	19.2	31.25
每段节点	32	64	64	64	32	32	32

## 6.2 工业控制现场总线

工业控制现场总线见表 9.3-14。

表 9.3-14 2007 年 IEC 61158 (第 4 版) 规定的 20 种工业控制现场总线

类型	技术名称
Type 1	TS 61158 现场总线 (第 1 版技术规范)
Type 2	CIP (Common Industrial Protocol); DeviceNet、Control-Net、Ethernet/IP 实时以太网
Type 3	Profibus (GB/T 20540—2006)
Type 4	P-Net; RS485、RS232、IP 实时以太网
Type 5	FF HSE
Type 6	SwiftNet (取消)
Type 7	WorldFIP
Type 8	Interbus; Interbus、Minimal、IP 实时以太网
Type 9	FF H1
Type 10	PROFINET 实时以太网 (GB/Z 20541—2006)
Type 11	TC-net 实时以太网
Type 12	EtherCAT 实时以太网
Type 13	Ethernet PowerLink 实时以太网
Type 14	EPA 实时以太网 (中国开发)
Type 15	Modbus-RTPS (TCP) 实时以太网
Type 16	SERCOS I、II (Serial Realtime Communication System), 用于运动控制网络
Type 17	Vnet/IP 实时以太网
Type 18	CC-Link (ISO 15745, GB/Z 19760—2005)
Type 19	SERCOS III 实时以太网, 用于运动控制网络 (Motion Network)
Type 20	HART

## 7 控制层现场总线

控制层主要用可自由编程的数字控制器代替通用模拟调节器直接控制调节阀等设备, 来完成建筑环境的过程控制。

可自由编程的数字控制器可以由用户根据各种控制要求开发和编制不同应用程序的控制器, 简称通用控制器。通用控制器除了进行常规的 PID 控制以外, 还包括前馈、串级、分程等控制算法。控制层拓扑结构通常采用总线型网络, 也有用环形拓扑结构的网络系统。控制层可以使用供应商自行开发的网络通信协议, 例如基于 RS485 通信协议的各种控制总线, 曾经是各个建筑设备监控系统供应商采用最多的封闭的控制总线, 但是, 目前采用国际标准通信协议的现场总线控制层日见增多, 已经成为控制层主流产品。

国际标准 ISO/TC205WG3 推荐在建筑设备监控系统控制层使用的现场总线标准有 3 种: BACnet、Profibus 和 World FIP (其中 BACnet 也被推荐为管理层的通信协议)。

### 7.1 BACnet 及 BACnet/IP (ISO 16484—5)

BACnet 是美国暖通空调制冷工程学会 (ASHRAE) 在 1987 年开始, 经过 8 年半的努力, 于 1995 年 6 月推出的一个建筑设备监控系统通信协议标准, 1999 年 1 月, 补充了采用全 IP 地址网络技术的 BACnet IP 标准。此后, 包括中国的 ISO 国际标准化组织的 20 个国家, 于 2003 年 1 月 18 日表决, 一致通过 BACnet 成为国际标准 ISO 16484—5 (2003)。

BACnet 是 A Data Protocol for Building Automation and Control Network 的缩写, 可以译成“建筑自动控制网络通信协议”。

所谓 Native BACnet 设备, 是指只使用 BACnet 通信协议的 BACnet 控制器和 BACnet 操作站, Native BACnet 设备不需要用网关进行通信协议的转换。这类 BACnet 设备都连接在点对点 (Peer To Peer) 通信的 BACnet 网络中的一个网络中。

BACnet 物理网络包括 6 种: 以太网、ARCnet 网、RS485 MS/TP 网、RS232 PTP 网、LonTalk 网以及 BACnet/IP 网。

BACnet 是专用于建筑设备监控系统的通信协议, 提供建立开放系统的通信技术。

#### 7.1.1 BACnet 三个基本要素

##### (1) 概述

BACnet 的三个基本要素是对象、属性、服务。

BACnet 采用面向对象 (Object Oriented) 技术描写建

筑设备控制产品的网络通信协议。把建筑设备监控系统的各种基本单元抽象成不同的“对象”，使建筑设备监控系统是由各种对象的某些组合构成。

每个 BACnet 对象都包括“属性”(Property)和“服务”(Service)。属性反映对象的控制特性，如特点、值、状态等，是基本单元“网络可见”的控制参数。服务用来定义访问、管理、改变属性状态的各种操作方法。

在 BACnet 通信协议的应用层，通过定义标准的对象和服务，对应用提供了完整的实现方法，供应商可以按照不同的应用进行具体的开发，以实现不同供应商生产的 BACnet 设备之间的互操作性和互换性。

(2) 建筑设备的表示模型——对象 (Object)

BACnet 把建筑设备监控系统中的传感器、执行器、控制值定义成为一组标准的对象，给出一种抽象的数据结构，作为建立 BACnet 应用层服务的基础。系统中的每个设备都用对象描述，因此大部分应用层服务都数据化成为对这些对象的属性(特点、值、状态等)进行访问与读写操作。

BACnet 定义了 23 个标准对象模型，是对基本控制单元进行标准化的结果，标准对象是属性——标准化的对象，见表 9.3-15。

表 9.3-15 BACnet 对象

序号	标准对象	应用示例
1	Analog Input (模拟输入)	传感器输入
2	Analog Output (模拟输出)	控制输出
3	Analog Value (模拟数据)	控制设定值
4	Binary Input (数字输入)	开关输入
5	Averaging (取平均值)	取某一空间几个温度传感器的平均值作为该空间的平均温度输入值
6	Binary Output (数字输出)	继电器输出
7	Binary Value (数字数据)	控制系统参数
8	Calendar (日历表)	全年公众假日表
9	Command (命令)	上下班时空调机起停
10	Device (设备)	其属性表示设备支持的对象和服务以及设备供应商和固件的版本，如一个温度传感器的基本属性描述
11	Event Enrollment (事件注册)	描述可能处于错误状态的事件(例如“输入超出范围”)或者其他设备需要的报警。该对象可以直接通知一个设备，或者用通告类对象(Notification Class)通知多个对象
12	File (文件)	水泵运行时间记录
13	Group (组)	一次读入空调机新风、送风、回风温度

续表

序号	标准对象	应用示例
14	Loop (回路控制)	空调机回风温度设定值比例积分控制
15	Life-Safety Point (火灾报警系统点)	描述火灾报警的某个烟雾探测器的报警或正常
16	Life-Safety Zone (火灾报警系统区)	描述火灾报警的某个报警分区的火灾报警或正常
17	Multi-state Input (多态输入)	表述一个多状态处理程序的状况，如空调机开启、早晨预热循环、下班停止等
18	Multi-state Output (多态输出)	表述一个多状态处理程序的期望状态，如空调机开启时间、早晨预热循环时间、停止时间等
19	Multi-state Value (多态值)	表述一个多状态处理过程的参数，如空调机新风温度、回风温度、新风湿度、回风湿度等
20	Notification Class (通告类)	包含一个设备列表，其中包括如果一个事件注册对象确定有一个警告或报警报文需要发送时所应该发送给的那些设备
21	Program (程序)	比例积分控制程序开始、停止、装载、卸载，以及报告程序的当前状态
22	Schedule (时间表)	定义一周日程表
23	Trend Log (趋势记录)	表述一个时间连续的按照一定时间间隔的某个空间温度数据记录，可供完成该空间温度变化趋势图的绘制

(3) BACnet 规定的 123 种对象属性(对象的特点、值、状态)

1) 输入输出对象属性。模拟输入 AI、模拟输出 AO、模拟值 AV、数字输入 DI (BI)、数字输出 DO (BO)、数字值 DV (BV)。

2) 日历表对象属性。该对象表示一系列日期，这些日期与正常日期不同，它是一些有特别意义的日期，只有两个属性：当前值 Present Value (与日历表一致为 TRUE，反之为 FALSE)，日期表 Data List。

3) 命令对象属性。该对象用于分组操作，每组操作包含一个或多个“写”访问操作。分组操作的动作或操作的内容，由该动作的 Action 属性表示，在某个时刻执行的分组操作，则由该对象的 Present Value 属性索引。

4) 设备对象属性。设备对象属性说明自动控制设备的各种总体特性(见表 9.3-16)。

表 9.3-16 BACnet 设备对象属性

属性标识符	属性的意义	特征
对象标识符	标识对象的数字代码	读
对象名称	标识对象的字符串	读
对象类型	表示对象的类型	读
系统状态	反应设备物理和逻辑状态的参数	读
设备供应商	标识供应商的字符串	读
供应商标识符	ASHRAE 分配的供应商标识代码	读

续表

属性标识符	属性的意义	特征
型号名称	供应商分配的设备型号的字符串	读
固件版本	设备中的固件版本	读
应用软件版本	设备中的应用软件版本	读
设备位置	设备物理位置字符串	○
设备功能描述	设备功能字符串	○
通信协议版本	设备支持的 BACnet 通信协议版本	读
协议一致类别 (已取消)		读
协议服务支持	设备支持的标准协议服务	读
协议对象类型支持	设备支持的标准对象类型	读
对象列表	可被 BACnet 服务访问的所有对象	读
接收应用层协议数据单元 APDU 的最大长度	设备能接收的最大应用层协议数据单元 Application Protocol Data Unit	读
分段支持	设备是否支持报文分段、分段收发	读
虚拟终端类型支持	列表的虚拟终端类型	○
活动虚拟终端会话	列表的虚拟会话类型	○
本地时间	4 个字节计时, h、min、s、s/100	○
本地日期	设备记录日期	○
时差	-720~720, 与 UTC 国际标准时间差	○
夏令时状态	是否夏令时	○
APDU 分段超时	以 ms 表示	读
APDU 超时	以 ms 表示	读
APDU 重传次数	重传最大次数	读
会话密钥列表	有安全要求的 BACnet 设备通信密钥	○
时间同步容器	设备使用时间同步服务的控制	○
最大主节点数	在 MS/TP 网络中最大主节点数	○
最大信息帧数	在 MS/TP 网络中最大发送帧数	○
设备地址捆绑	对象标识符与设备地址列表	读

- 5) 事件注册对象属性。
- 6) 文件对象属性。
- 7) 组对象属性。
- 8) 回路控制对象属性。
- 9) 多态输入、输出对象属性。
- 10) 通告对象属性。
- 11) 程序对象属性。
- 12) 时间表对象属性。

#### (4) 访问对象的操作——服务

常规模拟控制网络最常用的是“命令”模式, 对操作实体直接进行操作, 例如, “开/关”命令, 直接使被操作对象“启动/停止”。在数字控制网络中, 则可以采用“取/存”方式或“读/写”方式访问对象的属性, 间接实现对被操作对象的操作过程, 这种间接操作模式称为“读写”模式。

直接操作模式形象直观, 但是, 它不能成为通用互操作模式, 因为不同的控制领域, 有不同的操作命令和操作参数类型, 所以, 直接操作模式不适应要求互操作的现代自动控制系统的要求。

间接操作模式以统一的方式实现互操作, 把被操作或被管理的实体, 抽象为标准“对象”, 用以屏蔽不同结构或不同功能的实体。通过对“对象”属性进行“读写”来实现对被操作对象的控制和管理, 如同 CPU 只依靠 IN 和 OUT 两条指令就可以控制和管理各种外部设备一样。

在 BACnet 标准中, 两种模式都被采用, 间接模式用于控制设备的控制过程, 而直接模式通常与设备的管理过程有关。这种混合模式, 充分利用了两种模式的优点: 在控制系统的低层, 各个测控点上只有大量功能单一的现场测控设备, 没有管理功能的需求, 间接模式是最好的互操作模式; 对于既有测控功能又有管理功能的控制设备, 如操作站, 则采用两种模式的混合模式进行控制, 可以充分发挥各自的优点, 兼具测控和管理两种功能。

实现互操作, 就是在 BACnet 对象之间的信息交换, 这种信息交换是从 BACnet 对象的外部进行的, 因此, 对 BACnet 对象的访问, 就必须定义操作的“命令”或“消息”, 并要求包含 BACnet 对象的宿主环境能够接收、发送和解释“命令”或“消息”的语义, 并对 BACnet 对象的属性进行操作, 然后由宿主环境中的其他进程或线程根据 BACnet 对象属性值完成相关的建筑功能, 如起停风机、调节阀门开度等。这种“命令”或“消息”——访问对象的操作, 被定义为通信协议的“服务 (Service)”。

通过服务, BACnet 设备可以查询另一个设备的数据, 或命令另一个设备执行某些操作, 或向其他设备主动声明或通告发生的事件或报警。

BACnet 在 1995 年定义了 35 个服务, 把它们分成了 6 个功能组: 报警和事件服务、文件访问服务、对象访问服务、远程设备管理服务、安全服务和虚拟终端服务。

#### 7.1.2 BACnet 协议四层模型 (见图 9.3-9 和图 9.3-10)

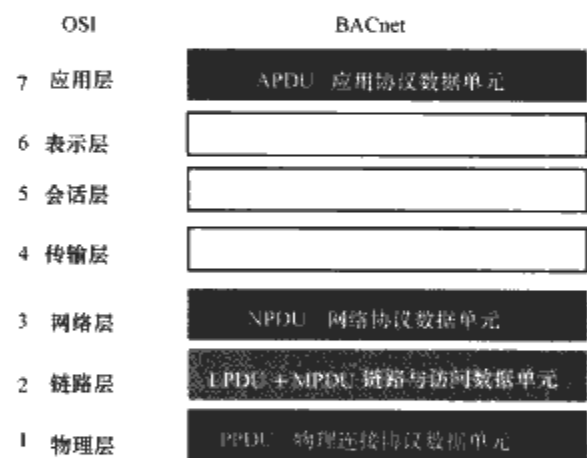


图 9.3-9 BACnet 通信协议四层模型

OSI 层次	BACnet 通信协议层次					
第 7 层 应用层	APDU 应用服务数据单元 (APCI 应用服务控制信息+与服务有关的 PDU 协议数据单元)					
第 3 层 网络层	NPDU 网络协议数据单元 (NPCI 网络协议控制信息+NSDU 网络层服务数据单元)					
第 2 层 数据链路层	IEEE 802.2		MS/TP 主从/ 令牌 传递	PTP 点对点	LonTalk 78kbit/s~ 1.25Mbit/s	BVLL
第 1 层 物理层	IEEE 802.3 以太网 10~100 Mbit/s	ARCnet ATA / ANSI 878 150kbit/s~ 7.5Mbit/s	RS485 9.6~ 76.8kbit/s	RS232 9.6~ 56kbit/s		UDP
						IP

图 9.3-10 BACnet 通信协议四层模型分解

#### (1) ISO/IEC 8802.3 以太网

传输速率 10Mbit/s 已能满足实际需要, 大型网络或与企业级信息网络互联, 可以用路由器连接 10~100Mbit/s 或

更高速的以太网,称为 BACnet Ethernet。

#### (2) ARCnet

传输速率为 150kbit/s~7.5Mbit/s。ARCnet 在建筑设备监控系统应用已经很少,称为 BACnet ARCnet。

#### (3) MS/TP (Master-Slave/Token Passing)

MS/TP 是 BACnet 开发的专有的通信协议,传输速率为 9.6~76.8kbit/s。物理层采用 RS485,它可以工作于三种模式:主-从模式 (Master-Slave Mode)、对等令牌式模式 (Peer-to-Peer Token Passing Mode)、组合模式 (Combination Mode)。MS/TP 协议是 BACnet 现场网络层主要使用的协议,称为 BACnet MSTP。

#### (4) PTP (Point-to-Point)

PTP 利用串行异步方式提供建筑设备或控制网络间的互联。这种方式通常是利用调制解调器 (Modem) 在公用数据网络上进行拨号连接,可以使两个网络在需要时互连,也可以进行远程查询和监控。PTP 是一种远程或暂时互联的解决方案,其缺点是连接速率较低,传输速率为 9.6~56kbit/s。物理层采用 RS232 协议,称为 BACnet PTP。

#### (5) LonTalk

LonTalk 是现场总线 LonWorks 技术的通信协议,包括 ISO/OSI 所有 7 层通信协议,BACnet 只选用协议的第 1 层协议的物理层和第 2 层数据链路层;传输速率为 78kbit/s 和 1.25Mbit/s。在 BACnet 中的 LonTalk 只是一种局域网技术,与其他局域网技术的作用相同。BACnet 包含 LonTalk 的真正作用是利用 LonTalk 传输 BACnet 报文,BACnet 使用 LonTalk 并不意味着与 LonWorks 系统兼容,称为 BACnet LonTalk。

#### (6) BACnet/IP (BVLL+UDP+IP)

为了方便地实现建筑设备监控系统网络控制,BACnet 网络通过互联网进行互连成为一种重要方法。BACnet 用两种方法支持与互联网的连接:一种是把 BACnet 封装在 UDP/IP 协议包中,在 IP 网络中传输,称为 B/IP PAD;一种是把 IP 网络作为一个“局域网”使用,直接支持基于 IP 协议的 BACnet 设备,用 IP 帧接收和发送 BACnet 报文,可以在 IP 网络上有效地进行 BACnet 广播,并允许在网络的任意位置动态地增加和减少 BACnet 设备,称为 BACnet/IP;表 9.3-14 中示出的通信模型是 BACnet/IP。

由于 IP 网络的出现,使各种 BACnet 网络通过 IP 网络互联非常灵活,BACnet 产品供应商往往通过 BACnet BC 建筑控制器级别的产品作为接口,把所有底层低速的 BACnet 网络(例如采用 MS/TP RS485 总线连接的 76.8kbit/s 的 ASC 专用控制器网络)连接到高速 IP 网络,从而达到使各种 BACnet 设备均可以在 IP 环境中实现互操作的目的,这种无需 BACnet 网关的无缝连接的 BACnet 控制网络系统,称为 Native BACnet 系统。

BACnet/IP 所实现的 BACnet 网络通过互联网连接,主要是在数据链路层建立了 MAC-IP-UDP-BVLL,实现与 BACnet 的网络层 NPDU、应用层 APDU 的连接(见图 9.3-11)。

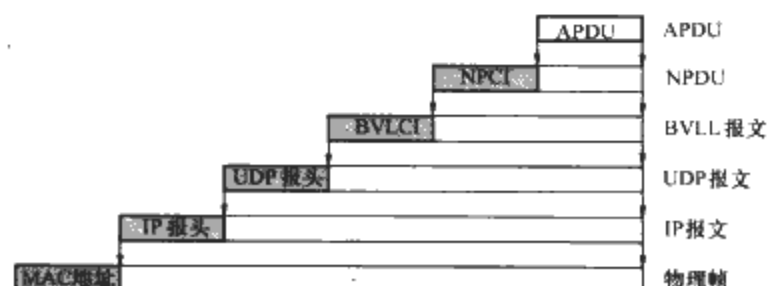


图 9.3-11 BACnet/IP 虚拟链路层 BVLL

#### (7) MAC (Media Access Control)

MAC 地址是数据链路层中设备自身的地址,每个与互联网连接的设备都必须有 MAC 地址(即网卡的地址),根据网卡的设定,决定设备的 MAC 地址,MAC 地址是计算机和路由器等设备独自拥有的地址,是在局域网中正确识别连接终端不可缺少的地址。MAC 地址包括 1bit 的 I/G(个别地址/集团地址)、1bit U/L(公用地址/私有地址)、22bit 厂商代码和 24bit 产品代码,总计 6 个字节。MAC 地址保存在网卡的只读存储器 ROM 中,是设备的实际物理地址。在以太网中,以太网报头内存储有接收端和发送端双方的 MAC 地址,计算机在读取数据包时,参照数据链路层中的该部分来确认接收端的 MAC 地址是否为自身的 MAC 地址,如果是,则读入该数据包,除去以太网报头并传递给网络层,于是在网络层中,参照 IP 报头来确认接收端是否为自身。

#### (8) IP (Internet Protocol)

互联网通信协议 IP 是网络层协议,负责把数据包送到对方计算机,该协议使用的地址称为 IP 地址,作为通信中必要的 IP 地址,确立了端到端的通信线路,通过低层 MAC 地址确认是否是自己的数据包或者继续路由该数据包。IP 地址由 32bit 组成,平均分割为 4 组,每组使用十进制表示,用点号“.”隔开。

利用地址解析协议 ARP (Address Resolution Protocol),可以通过接收端 IP 地址查找接收端的 MAC 地址,利用逆向地址解析协议 RARP (Reverse Address Resolution Protocol),可以由 MAC 地址查找 IP 地址。

#### (9) IP 报头

包括 4bit 版本 (Version)、4bit 报头长度 (Header Length)、8bit 服务类型 (Type of Service)、16bit 数据包长度 (Total Length)、16bit 标志 (Identification)、3bit 标志 (Flags)、13bit 数据块偏移 (Fragment Offset)、8bit 生存时间 (Time To Live)、8bit 通信协议 (Protocol)、16bit 报头校验码 (Header Checksum)、32bit 发送端 IP 地址 (Source Address)、32bit 接收端 IP 地址 (Destination Address),总计 20 个字节。

#### (10) UDP (User Datagram Protocol)

UDP 协议层的作用是将来自 BVLL 层 (BACnet Virtual Link Layer, BACnet 虚拟链路层)的数据封装成 IP 数据包,也将收到的 IP 数据包拆开,提取其中的相关数据提交给 BVLL 层。

BACnet IP 采用 UDP 作为传输协议的原因是一方面由于 TCP 协议不能实现“一对多”的广播,另一方面是 BACnet 的应用层已经提供了同 TCP 协议类似的可靠传输机制和报文分段功能,所以 BACnet/IP 选用 UDP 而不是 TCP 协议。BACnet/IP 使用 UDP 协议,可以避免重新定义新类型的 IP 协议包,又可以利用现有的 IP 系统建立 BACnet 网络。

#### (11) UDP 报头

包括各 2 字节的发送端口号 (Source Port)、接收端口号 (Destination Port)、数据包长度 (Length) 和校验码 (Checksum),共 8 个字节。

#### (12) BVLL 虚拟链路层 (BACnet Virtual Link Layer)

位于 BACnet 网络层与 IP 层之间的 BVLL,是一个新定义的微协议层,该微协议层简称为 BVLL (BACnet 虚拟链路层),因为它相当于 BACnet 的数据链路层,提供 BACnet 网络层与互联网通信协议 UDP 之间的接口。BVLL 在网络层与 BACnet NPDU 网络协议数据单元和互联网 UDP 通信



协议之间提供的这个通信协议层 BVLL, 是基于 IP 互联网通信协议的一个 BACnet 网络层与应用层之间的虚拟链接。

BVLL 有三个重要作用, 包括对 BACnet 广播进行统一管理、提供在 IP 网络上动态增加或减少 BACnet 设备的功能, 还有提供 BACnet 通信系统的扩展机制, 允许向其他通信协议扩展。

BVLL 包括 BVLL 数据格式和通信规定, 数据格式说明 BACnet 报文的组成与功能, 通信规定说明协议操作的过程。

(13) BVLCI (BACnet Virtual Link Control Information)

BVLCI 是 BACnet 虚拟链路控制信息域, 包含三个字段, 分别表示协议类别、功能和协议包的长度。

(14) NPDU

NPDU 是网络层协议数据单元 (NPCI 网络协议控制信息+NSDU 网络层服务数据单元); 网络层提供路由功能, 使得报文可以被直接传送到一个远程设备、一个远程网络上的所有设备、或者所有网络上的所有设备, NPCI 作为报头, 共 2 个字节, 包括 1 个字节的版本 (Version) 和 1 个字节的控制 (Control)。

(15) NPCI (Network Protocol Control Information)

NPCI 是 BACnet 网络层的通信协议控制信息, 包括版本 (1 个字节)、控制 (1 个字节)、目标网络号 (2 个字节)、目标 MAC 地址长度 (1 个字节)、目标 MAC 地址 (可变的字节)、源网络号 (2 个字节)、源 MAC 地址长度 (1 个字节)、源 MAC 地址 (1 个字节)、转发计数 (1 个字节)、报文类型 (1 个字节)、厂商代码 (2 个字节) 等, 其中第 2 个字节是一个控制字节, 对其结构起着决定作用。

(16) APDU

APDU 是应用层协议数据单元; 传送包含在应用服务原语 (请求 Request、指示 Indication、响应 Response、证实 Confirm) 和相关参数中的信息。因为 BACnet 采用简化的 OSI 体系结构, 不包含任何表示层的功能, 所以必须预先定义好通信设备一致遵守的完成表示层功能的传送语法和编码规则。

### 7.1.3 BACnet 通信协议的验证和测试一致性说明 PICS

由于 BACnet 标准为了适应各种应用, 增加了许多选择项, 这些选择项, 固然增加了通信协议的灵活性, 但是, 对实现互操作性带来不利的影响, 所以 BACnet 又规定了 PICS 文件用来弥补这个缺点 (Protocol Implementation Conformance Statement)。

BACnet 规定每个 BACnet 设备都需要编写一个 PICS 文件, 说明该设备支持哪些 BACnet 功能和选择项。PICS 是描述实现 BACnet 标准的设备具有哪些 BACnet 的特性和功能的文件。

PICS 集中考虑了基于 “ASHRAE 指南, 13-2000 DDC 系统设计与说明指南” 用于设计 DDC 直接数字控制器互操作系统的开放性标准所定义的数据共享 (Data Sharing)、报警和事件管理 (Alarm and Event Management)、时间安排 (Scheduling)、趋势 (Trending)、设备与网络管理 (Device and Network Management) 等 5 个互操作域 (Interoperability Area) 技术规定。

### 7.1.4 BACnet 互操作模块 BIBB

如果 BACnet 把这 5 个互操作域映射到 BACnet 通信协议, 就必须由 BACnet 通信协议来定义服务, 以便实现 5 个域的互操作功能。在 BACnet 标准中的这种映射, 就产生了 “BACnet Interoperability Building Block (BIBB)” 的概念,

可以翻译成 “BACnet 互操作基本块”。BIBB 由一个或多个 BACnet 服务组成, 并 “成对” 定义 (设备 “A” 和设备 “B”), 成对定义是说如果设备 A 和设备 B 分别支持同一 BIBB 双方服务功能, 那么这两个设备一定可以实现互操作, 也就是说, A 和 B 代表操作过程的双方, A 通常代表互操作功能的请求方, 是互操作过程的客户或用户, B 代表操作功能的响应方或执行方, 是互操作过程的服务器或提供者。因而, BIBB 说明了互操作过程所具有的 “对称性”, 能够准确描述互操作功能及其过程。

### 7.1.5 BACnet 6 种标准控制部件和设备

BACnet 还定义了 6 种标准类型控制部件和设备, 规定了各自的互操作域和相应的 BIBB。BACnet 设备开发商必须在其设备的 PICS 中声明设备可具有的互操作域, 以供系统设计时合理选用, 或作为工程投标的依据, 从而解决了 BACnet 设备产品开发和工程项目应用任务的分工和协作问题, 简化了 BACnet 的应用, 也促进 BACnet 的应用。

按照建筑设备监控系统设备功能区别, BACnet 为 6 种标准类型控制部件和设备, 分别制定了各自的技术标准, 称为行规, 这 6 类设备按它们在系统结构中的位置, 从上至下分别是:

- 1) BACnet Operator Workstation (BACnet 操作站, B-OWS)。
- 2) BACnet Building Controller (BACnet 建筑控制器, B-BC)。
- 3) BACnet Advanced Application Controller (BACnet 高级应用控制器, B-AAC)。
- 4) BACnet Application Specific Controller (BACnet 专用控制器, B-ASC)。
- 5) BACnet Smart Actuator (BACnet 智能执行器, B-SA)。
- 6) BACnet Smart Sensor (BACnet 智能传感器, B-SS)。

### 7.1.6 BACnet 体系结构 (见图 9.3-12)

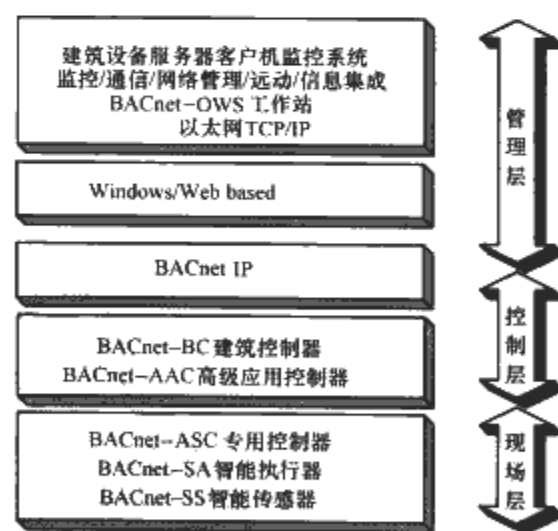


图 9.3-12 BACnet 体系结构

## 7.2 Profibus FMS (国际标准 IEC 61158—3, 欧洲标准 EN 50170—2)

### 7.2.1 Profibus

Profibus 是 Process Field Bus 的简称。1996 年, Profibus 被采纳为欧洲标准, 2000 年, 成为国际标准 IEC 61158—3, 2006 年成为国家标准 GB/T 20540—2006。2001 年开发的 ProfiNet 在 2003 年成为国际标准 IEC 61158—10,



2006 年成为中国标准 GB/Z 20541—2006。Profinet (IEC 61158—10) = Profibus (IEC 61158—3) + Profibus 与以太网保持实时通信的网络接口 + 分布式控制管理自动化。

Profibus 包括三种: Profibus-FMS (Fieldbus Message Sepcification), 适用于控制层通信任务和现场层; Profibus-DP, 适用于现场层; Profibus-PA 采用标准的本质安全防爆传输和总线供电技术, 适用于自动化控制中有防爆要求的场所。

Profibus FMS 和 Profibus DP 使用同样的传输技术 (第 1 层, 物理层) 和统一的总线访问协议 (第 2 层, 数据链路层), 数据通信速度为 9.6kbit/s~12Mbit/s, 所以这两套系统可以在同一根电缆上同时操作。Profibus FMS 定义了 1、2、7 三层, Profibus DP 和 Profibus PA 只定义了 1、2 两层; Profibus PA 第 1 层物理层与 Profibus FMS 和 Profibus 不同, 没有采用 RS485, Profibus PA 物理层采用 IEC61158—2 标准, 数据通信速度为 31.25kbit/s, 这种传输技术保证本质安全性, 并使现场设备通过总线供电, 因而可以用在防爆场所; Profibus PA 的第 2 层数据链路层, 数据传输使用扩展的 Profibus DP 协议; 使用分段耦合器, Profibus PA 产品可以很方便地连接到 Profibus DP 网络上 (见图 9.3-13)。

国际标准 ISO/TC 205WG3 《建筑设备监控系统设计》推荐采用 Profibus FMS。

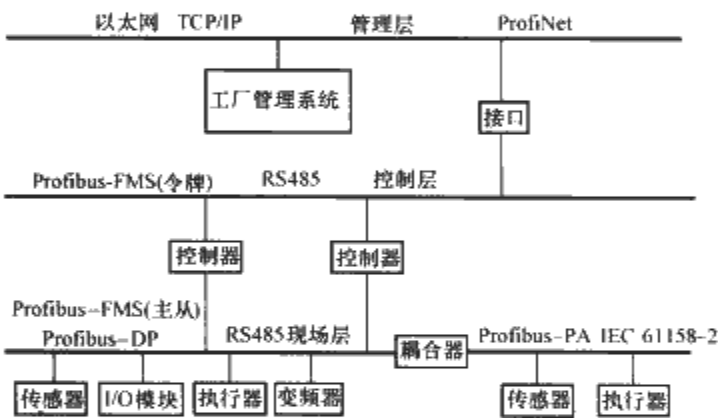


图 9.3-13 Profibus-FMS/DP/PA 系统图

7.2.2 Profibus-FMS 通信协议模型

根据 ISO 7498 的 OSI 开放系统 7 层互联参考模型, Profibus-FMS 协议使用第 1 层物理层和第 2 层数据链路层和第 7 层应用层, 第 3 层至第 6 层未加描述 (见图 9.3-14)。

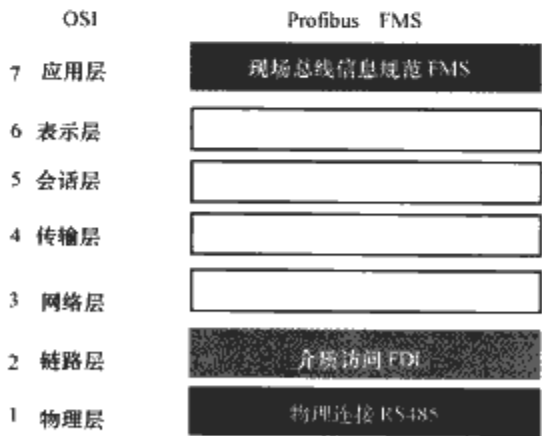


图 9.3-14 Profibus FMS 通信协议模型

(1) 第 1 层

采用 RS485 传输技术, RS485 是总线拓扑网络, 采用屏蔽或非屏蔽双绞线 (Profibus-FMS 要求使用屏蔽双绞线), 也可以使用光缆, 每段 32 个站点, 使用中继器, 最多可达 127 个站点 (见表 9.3-17)。

RS485 协议可以构成主从式监控网络, Profibus FMS 网

络之中的一种就是这种网络。RS485 也可以用于点对点的对等式网络。

表 9.3-17 RS485 速率与屏蔽双绞线长度关系

速率 (kbit/s)	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	12 000
长度 (m)	1200	1200	1200	1000	400	200	100

注 双绞线最小截面积 0.2mm<sup>2</sup>, 分布电容 60pF/m, 特征阻抗 130Ω。

(2) 第 2 层

采用现场总线数据链路 FDL 技术, 两种方式, 包括主站间的令牌传递方式和主站与从站设备间的主从方式 (轮询方式)。

(3) 第 7 层

现场信息管理规范 FMS, 把应用服务映射到第 2 层, 还包括现场总线管理。

7.2.3 Profibus 通信协议芯片 ASIC

ASIC 是 Application Specific Integrated Circuit 的缩写, 指特定用途的集成电路芯片。许多公司提供 Profibus 通信协议芯片, 有各种规格, 包括主从方式、支持协议 FMS/DP/PA、是否加单片系统 SoC 等。FMS 站点可以由通信协议芯片和单片系统组成, 通信由 ASICS 完成, 控制部分由 SoC 完成。

7.2.4 Profibus 现场总线体系结构 (见图 9.3-15)

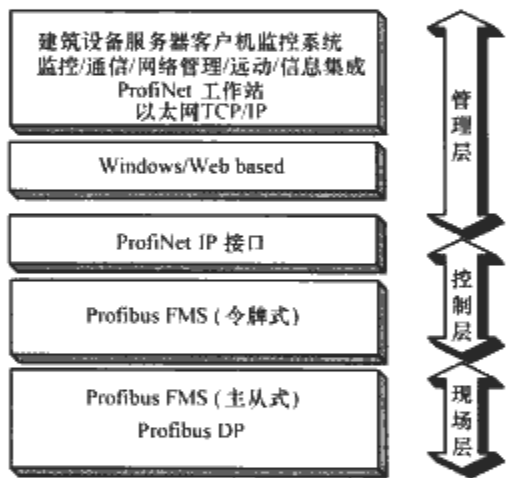


图 9.3-15 Profibus 体系结构

7.3 WorldFIP (现场总线国际标准 IEC 61158—7)

7.3.1 WorldFIP

WorldFIP 是 1991 年法国标准 (World Factory Instrumentation Protocol), 1996 年成为欧洲标准, 1999 年成为国际标准 IEC 61158—7。

WorldFIP 采用总线拓扑结构, 建筑设备监控系统采用 31.25kbit/s 和 1Mbit/s 两种速率, WorldFIP 还可以加上另一条总线作为备用, 构成双总线冗余结构以提高可靠性, WorldFIP 采用信息产生者和使用者概念, 和通常的输入输出略有区别, 按一定的时序, 为每个信息产生者分配一个固定的时间段, 通过总线裁决器呼叫每个信息产生者, 产生者给予响应和回答, 由使用者使用。WorldFIP 大部分用于连接传感器、执行器, 但是, 国际标准 ISO/TC 205WG3 《建筑设备监控系统设计》推荐它作为建筑设备监控系统控制层现场总线标准, 是因为 WorldFIP 可以涵盖三层: 管理层、控制层和现场层 (见图 9.3-16)。

WorldFIP 在法国工业控制领域有广泛的应用, 产品占有很高的比例份额。

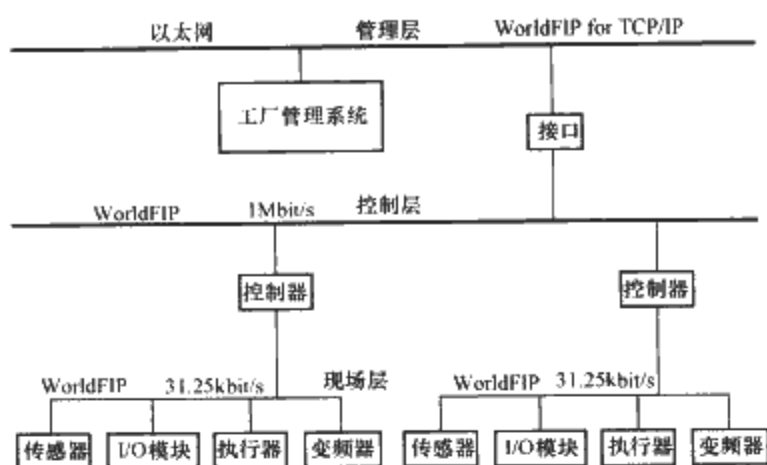


图 9.3-16 WorldFIP 系统图

### 7.3.2 WorldFIP 通信协议模型

根据 ISO7498 的 OSI 开放系统 7 层互连参考模型，Profibus-FMS 协议使用第 1 层物理层和第 2 层数据链路层和第 7 层应用层，第 3 层至第 6 层未加描述（见图 9.3-17）。

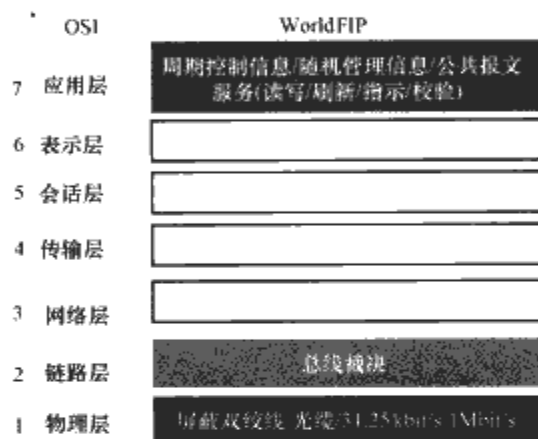


图 9.3-17 WorldFIP 通信协议模型

#### (1) 第 1 层

物理层，总线拓扑网络，采用屏蔽双绞线，也可以使用光缆，每段 32 个站点，最多使用 3 个中继器，连接 4 个子段，最多可达 256 站点。双绞线通信速率为 31.25kbit/s、1Mbit/s、2.5Mbit/s，光缆为 5Mbit/s。标志速率是 1Mbit/s，采用曼彻斯特编码。

#### (2) 第 2 层

数据链路层，提供两类数据传输服务，周期的变量传送服务和非周期的信息传输服务；WorldFIP 把信息分为周期性数据和非周期性数据，周期性数据主要是生产过程控制变量，包括采样信息、命令信息、控制器间交换信息等，非周期数据主要是非控制信息，包括事件信息、自诊断信息、参数或算法调整等。周期性变量是周期实时的，而非周期性信息是随机的。WorldFIP 的通道同时容纳这两类数据，在一条总线上互不影响地传递，用硬件保证在周期性变量数据传输的空闲时间才对非周期性信息数据进行传输服务。

#### (3) 第 7 层

应用层，为数据访问和进程间同步提供各种服务，包括读写、刷新、指示接收或发送一个变量，数据有效性检查。具体说，包括制造过程服务（MPS 制造周期服务）、制造管理服务（MAPS 制造非周期服务）和公共报文服务（SubMS 信息服务子集）。

### 7.3.3 WorldFIP 通信协议芯片 ASIC

许多公司提供 WorldFIP 专用通信协议芯片，能保证通信的可互操作性，包括提供数据链路层和应用层接口，可同时执行操作站功能和总线裁决器功能。

### 7.3.4 WorldFIP 现场总线体系图

WorldFIP 现场总线体系如图 9.3-18 所示。

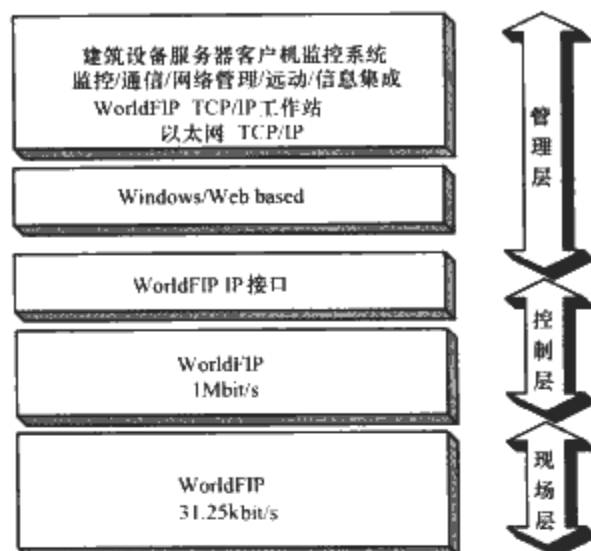


图 9.3-18 WorldFIP 体系结构

## 8 现场层现场总线

现场层是采用现场总线连接各种微控制器（专用控制器）和现场仪表的现场层设备网。现场层主要解决末端设备的控制和现场仪表信号的处理。末端设备包括风机盘管机组 FCU、变风量箱 VAV Box、吊顶式空调机等，现场仪表信号的处理包括传感器、变送器、执行器和变频器等，此外，由于分布式控制系统的发展，分布式输入输出模块连接在现场总线网络中，已经成为建筑设备监控系统的重要特点。

微控制器是指无需编程的控制某一种建筑设备的控制器，例如 VAV 箱控制器，微控制器通常是嵌入式控制器，由单片系统 SoC 构成。

国际标准 ISO/TC205WG3 推荐在建筑设备监控系统现场层使用的国际现场总线标准有 LonWorks（ANSI/CEA 709.1 “LonTalk”）和 KNX 两种。

此外，本节还要讨论两种在建筑设备监控系统中广泛使用的两种总线：Modbus 和 Meter Bus。

### 8.1 LonWorks 现场总线（欧洲标准 EN 14908，中国标准 GB/Z 20177—2006）

LonWorks 是美国 Echelon 公司在 1991 年推出的现场总线技术的注册商标，LON 是 Local Operation Network 的缩写，可译为局域控制网。LonMark，是由数以百计的 LonWorks 产品供应商组成的 LonMark 协会所颁发给 LonWorks 产品的一个标记，表示这些产品可以互相操作。LonTalk 是由 Echelon 公司开发的 LonWorks 控制网的数据通信协议。

2006 年，LonWorks 成为中国指导标准 GB/Z 20177—2006 和中国推荐标准 GB/T 20299—2006。

#### 8.1.1 LonWorks 控制网络的 6 个要素

LonWorks 控制网，类似计算机局域网 LAN（Local Area Network），由包括各种通信介质以路由器连接的多个 LonWorks 节点和计算机站组成，采用客户机/服务器网络结构，使用标准通信协议 LonTalk 通信。

组成一个 LonWorks 控制网，包括 6 个设计要素（见图 9.3-19），它们分别是：LNS 网络操作系统（含 LNS 数据库）、网络接口设备（i.LON10、i.LON100e3、i.LON600、PCLTA-21、PCC-10、U10 USB、U20 USB）、主通道（IP-852、XF-1250、FT-10）、路由器（MPR-50）、子网和节点（LonWorks 设备）。

(1) LNS 网络操作系统（LonWorks Network Services）

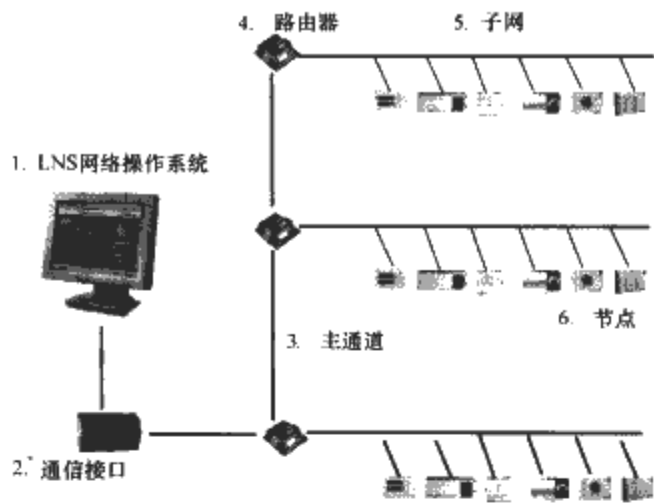


图 9.3-19 LonWorks 控制网络的 6 个组成要素

为 LonWorks 控制网提供控制数据服务，支持可互操作的应用，提供简易高效的编程接口，进行网络安装、网络监测、网络管理和网络维护，是 LonWorks 控制网的最高层软件平台。

(2) 工作站通信接口

链接 LonWorks 控制网与外部主机的物理接口，包括接口卡 PCLTA，串行接口器 SLTA，以太网接口 i.LON600/100/10 等，这些物理接口提供通信协议和应用编程接口 API，使基于主机的程序，像 LNS 或编程工具 LonMaker 能够访问 LonWorks 控制网。

把非 LonWorks 控制网的其他控制网络连接到 LonWorks 系统，则采用另外一种称为网关的物理接口，网关拥有适合外系统设备或通信协议的物理接口，它的应用程序对接外系统的专用通信协议，网关根据需要，在这两个通信协议之间进行翻译，以便让报文在这两个系统之间传输，网关能够把专用的以指令为基础的外系统报文转换为以信息为基础的 LonWorks 控制网使用的网络标准变量类型 SNVT (Standard Network Variable Type)。

(3) 主通道

通常是非屏蔽双绞线，用于建立 LonWorks 控制网数据的互相连接以及与 LNS 的连接。

(4) 路由器 (组成子网的物理链接)

对多种不同介质的 LonWorks 控制网进行链接，使单一的对等网络能够跨接许多类型的传输介质，支持多个设备；路由器用于实现为控制数据流量所进行的网络分段，以抑制其他部分来的数据流量。新产品为 MPR-50，可连接 4 个 LonWorks 子网。

(5) 子网

通常经由一个路由器连接在主通道上，每个子网的控制节点为 63 个，也称为一段 (Segment)；如果串联一个重复器，可再增加一段，多连接 63 个控制节点，子网此时可达 126 个控制节点 (见表 9.3-18)。

表 9.3-18 LonWorks 网络物理连接

通道类型	通信介质	拓扑类型	数据速率 (bit/s)	最多节点数	最大距离 (m)
TP/XF-1250	非屏蔽双绞线	总线	1.25M	64 (128)	125
TP/XF-78	非屏蔽双绞线	总线	78k	64 (128)	1330
TP/FT-10	非屏蔽双绞线	自由拓扑	78k	64 (128)	500 (节点间)
PL-2X	电力线	电力线载波	5.4k	~500	视环境而定

(6) 节点

各种控制器、输入输出模块、传感器、执行器等 LonWorks 设备。

8.1.2 LonWorks 控制网络主要技术参数

- 1) 子网中的节点 127
- 2) 域中的子网 255
- 3) 域中的节点 32 385
- 4) 域中的组 255
- 5) 组中的成员
  - ①未确认或重复的 无限制
  - ②确认或要求响应的 63

8.1.3 第三方系统与 LNS 的连接

第三方建筑设备监控系统，可以通过中间件，建立与 LNS 的链接。例如，Honeywell 公司开发的 LON 点服务器 (Lon Point Server)，这种 LPS 就是为了链接 LonWorks 控制网而设计的，该公司一台中央站 EBI 服务器，可以同时提供 10 个 LON 点服务器 (LPS)，用于链接 10 个 LNS 服务器，进而和 10 个 LonWorks 控制网联网 (见图 9.3-20)。

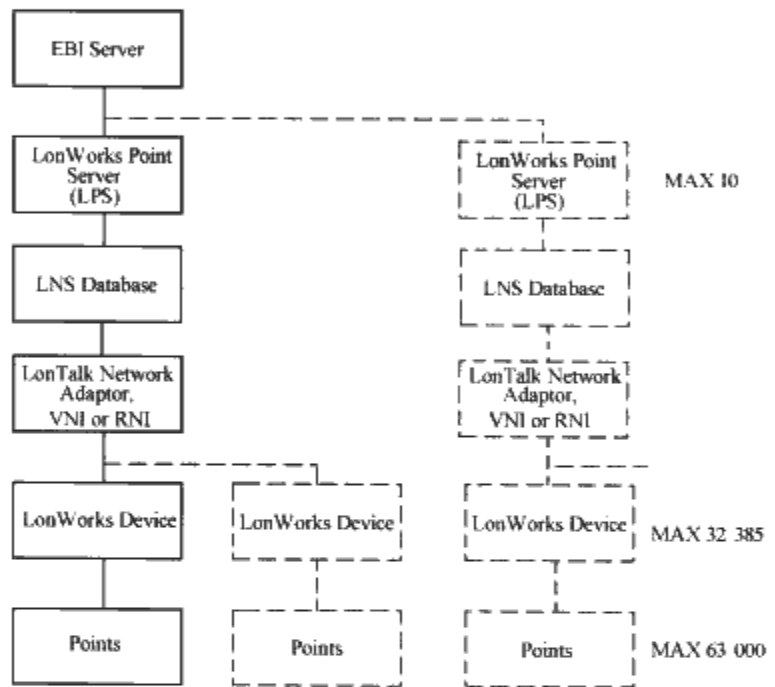


图 9.3-20 中间件 LPS 与 LNS 链接

8.1.4 LonWorks 的技术核心

(1) LonTalk 通信协议

LonTalk 通信协议提供一套通信服务，使节点中的应用程序能在网上对其他节点发送和接收报文而无须知道网络拓扑、名称、地址或其他节点功能，是控制网络的要求。

LonTalk 通信协议能够有选择地提供端到端的报文确认、报文证实、优先级发送；支持网络管理业务。

(2) LonTalk 通信协议分层结构

它符合国际标准化组织 ISO/OSI 开放系统互联的 7 层体系结构 (见图 9.3-21 和表 9.3-19)，同时，LonTalk 通信协议设计是专用于控制系统而不仅是数据处理系统的特殊通信协议：每个包是由可变数目的字节构成，长度不定，并且，包含应用层 (第 7 层) 的信息以及寻址和其他信息。为了处理网上的报文冲突，使用类似以太网所用的“载波监听多路访问” (CSMA) 算法，在 CSMA 基层上，提供介质访问协议，使得可以根据预测网络业务发送量发送优先级报文和动态调整时间槽的数目。通过动态调整网络带宽，称为预测性 P-坚持 CSMA 算法 (Predictive-Persistent CSMA)，这种通信协议的算法，使网络能在极高业务量出现时继续运行，而在业务量较小时，不降低网络速度。控制网络不同于数据网络，在控制网中，控制节点之间需要经常、可靠和安全的通信，控制信息多是短报文格式，要求网络实现点对点的对等通信，网络的控制节点数量多，节点在现场分布安

装,客户要求不同供应商的产品有互换性、互操作性,等等。在数据网络中,主要是计算机节点,不是控制设备节点,数据网主要用途是在批处理的计算机之间传输大量数据,完成数据通信。

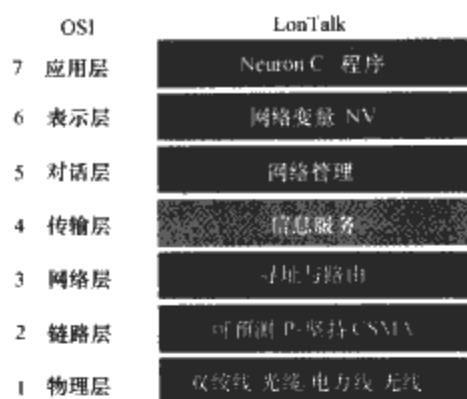


图 9.3-21 LonTalk 通信协议模型

### (3) LonTalk 通信协议的特点

- 1) 支持多种通信介质,包括双绞线和电力线。
- 2) 支持可靠通信,包括防范未经授权使用系统。
- 3) 支持混合介质和不同通信速度构成的网络。
- 4) 提供可预测的响应时间。
- 5) 提供对节点透明的接口。
- 6) 支持几万个节点。
- 7) 支持节点间的任意连通。
- 8) 支持对等通信,即支持分布式控制系统。
- 9) 支持产品可互操作性,提供有效机制,不同供应商产品能共享标准物理量信息。

### 8.1.5 LonTalk 网络变量

LonTalk 协议使用网络变量 NV (NetworkVariables) 作为第 6 层(表示层)的数据解释和表达的方法。网络变量 NV 大大简化了可互操作性的 LonWorks 应用程序的设计工作,适用于以信息为基础的控制系统设计。以信息为基础的控制系统设计比以指令为基础的控制系统设计给用户带来更多的方便。

网络变量 NV 是指一个 LonWorks 控制节点应用程序期望从 Lon 网络中从其他控制节点得到的数据项(输入 NV)或期望提供给 Lon 网络中其他控制节点的数据项(输出 NV),这些数据项包括模拟量(温度、湿度、压力、压差、流量、液位、执行器位置设定等)和数字量(开、关、脉冲等)。例如,一个温度测量节点,可以定义一个输出网络变量 NV,这个网络变量 NV 包含当前的温度值,另一个温度控制节点,需要知道当前的温度值,定义一个输入网络变量 NV,这个网络变量 NV 包含当前的温度值,这个输入网络变量 NV 和温度测量节点的输出网络变量 NV 类型是一样的,把这两个网络变量 NV 互联,温度测量节点的温度值更新时,温度控制节点也相应获得当前的温度值。

网络变量 NV 可以与一个或多个其他节点的网络变量 NV 互联,一个输入网络变量 NV 可以和多个其他节点的输出网络变量 NV 互联,一个输出网络变量 NV 可以和多个其他节点的输入网络变量 NV 互联。输入一个输入网络变量 NV 可以和多个其他节点的输出网络变量 NV 互联。输出一个输入网络变量 NV 可以和多个其他节点的输出网络变量 NV 互联。输出网络变量 NV 和输出网络变量 NV 不能互联,输入网络变量 NV 和输入网络变量 NV 也不能互联。

输入网络变量 NV 对应输出网络变量 NV,输出网络变量 NV 更新,也使输入网络变量 NV 更新;同时,输入网络变量 NV 也可以通过轮流查询方式(polling)获得最新的输

出网络变量 NV。

网络变量 NV 的传送是通过 LonTalk 通信协议完成,应用程序开发人员不必考虑网络变量 NV 传送的目标地址、打包拆包、报文缓冲区、请求/响应/重发等网络操作,因此网络变量 NV 简化了开发和安装 LonWorks 控制网络的过程。控制节点中的应用程序不需要知道输入 NV 来自何处、输出 NV 走向何处。当应用程序的输出 NV 值变化时,只是把这个新值写入一个特定的存储单元,在网络设计和安装期间,会发生一个叫作“捆绑”(binding)的过程,通过这个过程配置 LonTalk 固件,以确定网上要求 NV 的节点组或其他逻辑装置的逻辑地址,汇集和发送适当的包到这些装置。类似地,当收到其他应用程序所需的输出 NV 的更新数值时,就把它放在一个特定的存储单元。应用程序知道在这个单元总是能找到最新数据。这样,捆绑过程就在一个装置中的输出 NV 和另一个装置或装置组的输入 NV 之间建立了逻辑连接。连接可想象为“虚拟线路”。假如一个节点有一个物理开关和相应的称为“开关”的输出 NV,而另一个节点驱动有称为“灯 On/Off”输入 NV 的一个灯泡,连接这两个 NV,建立一个逻辑连接,其功能效应就如同从开关到灯泡连接一条物理线路(见图 9.3-22)。

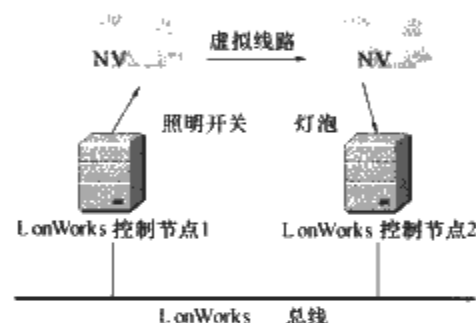


图 9.3-22 LonTalk 网络变量 NV

### 8.1.6 LonWorks 神经元芯片

神经元芯片由 3 个 CPU 微处理器、RAM 读写存储器、ROM 只读存储器、通信和 I/O 接口组成。ROM 中包括操作系统、LonTalk 通信协议、I/O 功能数据库系统。RAM 用于存储节点数据和应用程序,3 个 CPU 中的第 1 个 CPU,用于处理与 Lon 网络通信(介质访问控制 MAC 处理器),即 OSI 七层协议模型中的第 1 层和第 2 层,包括 P 坚持 CSMA 算法,它和网络 CPU 间通过使用网络缓冲区进行数据传递,第 2 个 CPU,是网络处理器,解决 OSI 七层协议模型中的第 3~6 层,处理网络变量、地址、认证、后台诊断、软件定时器、网络管理和路由等进程,网络处理器使用网络缓冲区和 MAC 处理器进行通信。第 3 个 CPU 是应用处理器,它完成用户编程,包括用户程序对操作系统的服务调用(见图 9.3-23)。

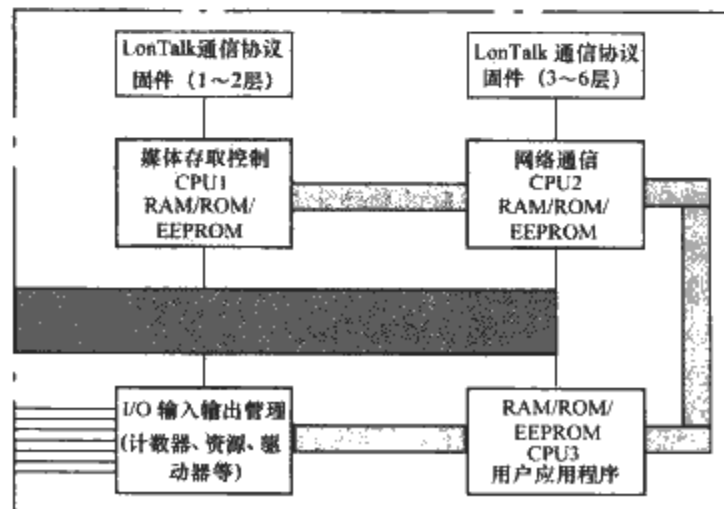


图 9.3-23 LonWorks 神经元芯片 3150

### 8.1.7 LonTalk 通信协议寻址

为了简化网络配置和管理, LonTalk 把逻辑地址分配给节点。逻辑地址让用户把一个名字与节点(或物理装置)配合。所有逻辑地址有两个部分,第1部分是指定域的域 ID(Domain ID)。所谓域就是节点的集合,常常是整个系统,它们可以互操作。第2部分以独特的15位节点地址规定域中的一个单一节点,或者以它独特的8位组地址规定预先定义的节点组。每个在网上传输的包,包含传输节点(源地址)的逻辑节点地址和接收节点地址(目的地址),它们可能是神经元芯片物理地址,也可能是逻辑节点地址、组地址或广播地址。

组是域中节点的集合,但不像子网。组是不论物理通道位置而组合起来的节点集合。最大的组的规模是发送确认报文时的64个节点;发送不确认报文的组规模是无限制的。在对一个或多个网络变量和报文标签进行连接时,组是一个很有效的优化方法。

### 8.1.8 LonWorks 收发器

收发器是在神经元芯片和 LonWorks 控制网络之间提供的物理通信接口,可以添加到任意一个基于神经元芯片的控制系统。有用于不同介质的各种收发器,包括双绞线收发器、电力线收发器、无线收发器、光纤收发器等等。它既是发送器,又是接收器,在通信介质上发送和接收信号。例如,常用的 TPT/XF-1250 双绞线收发器,通信速率 1.25Mbit/s、总线拓扑、支持 64 个节点通信、通信距离 130m、采用变压器隔离,它由变压器隔离的差分曼彻斯特编码通信收发器、电源连接器、神经元芯片通信口线、双绞线网络数据总线组成,体积很小,可以安装在印刷线路板的任意位置,可以作成插件或焊件, TPT/XF-1250 收发器可以与 TP/XF-1250 控制模块通信。

### 8.1.9 LonWorks 控制节点

通信协议通常以嵌入软件或固件代码形式存在于每个网络节点中。网络中的节点,是指一个控制节点,称为 LonWorks 控制节点。它是包含 LonTalk 通信协议的代码和某种类型操作功能的节点,由神经元芯片、电源、通信收发器组成。例如,55010 控制节点,包括一个神经元 Neuron 3150 芯片、PROM 或 Flash 存储器、一个通信收发器、一个电源、I/O 接口和网络连接件,有 3 种收发器可供控制节点选择:

- 1) 自由拓扑,变压器隔离,78kbit/s, TP/FT-10。
- 2) 变压器隔离,78kbit/s, TP/XF-78。
- 3) 变压器隔离,11.25Mbit/s, TP/XF-1250。

### 8.1.10 LonWorks 路由器

选择 LonWorks 控制网络的信息从一个网络或子网到另一个网络或子网的路由的节点。路由器从第1个网络接收报文并严格按照原样发送给第2个网络。在正常运行时,路由器不存储任何它们转发到其他网络的报文。路由器连接2个通道之间的 LonTalk 信息。

路由器通常有2个互联的神经元芯片,每个神经元芯片有一个适用于2个通道的收发器,路由器就连接在这2个通道上。

路由器的用途包括:

- 1) 扩展通道的容量,增加子网。
- 2) 连接不同的通信介质或通信速率的 LonWorks 数据流。
- 3) 物理隔离2个通道,提高 LON 总线可靠性。
- 4) 全面提高网络性能,在每个子系统内,可以用路由器隔离通信,从而提高了整个网络的吞吐率,同时也可以减少通信的反应时间。

### 8.1.11 LonWorks/IP (EN14908—4, ANSI/CEA—852)

基于 PAD 封装技术的 LonWorks 与互联网 Internet 连接的 EIA 852 标准,可以称为隧道构件网络通信协议(Tunneling Component Network Protocol),2006 年 2 月成为欧洲标准。

Echelon 公司提供三种与 Internet 连接的网络接口设备,分别用于不同的系统规模。

#### (1) i.LON 10 以太网适配器

适用于家居网络通过 IP 网实现远程监视、管理和故障诊断。可以作为一个远程网络接口(10BaseT 带宽占用不大于 2%)连接 LNS 服务器(LON 网络操作系统)或运行第 3 方 LNS 应用程序的服务中心,完成系统监控。可以使用一个调制解调器 Modem,支持 PPP 拨号(Peer to Peer Protocol,端对端协议)连接到本地 ISP(Internet Service Provider,互联网服务供应商)或企业终端服务器上。

#### (2) i.LON100e3 Internet 服务器

内置 Web 服务器,适用于家居网络连接 Internet 或企业 IP 网络,是一个高性能的 SOAP/XML Web Services 设备,配有 10/100 BaseT 自适应以太网接口、Modbus 现场总线接口、Meter Bus 现场总线接口。

#### (3) i.LON600 LonWorks/IP 服务器

是遵守 EIA 852 协议的 LonWorks 网络到 IP 网络的路由器,适用于大型建筑设备监控网络。

### 8.1.12 LonWorks 典型数据包

LonWorks 数据包的特点是发送的报文都是很短的数据,不超过几十个字节,典型数据包只有 12 个字节,如图 9.3-24 所示。在选择网络连接设备和配置网络时,要考虑网络连接设备的吞吐量,通常以每秒传送的 LonTalk 数据包数量表示设备吞吐量。

OSI 层数	2 链路层	3 网络层	4 传输层	5/6 会话层/ 表示层	数据	2 链路层
长度(Byte)	1	(地址) 1 2 1	1	2	2(典型值)	2
内容	报头 优先级 通道	目的 地 源 (子网 /节点)	地址 格式 域长度	服务 点对 点应 答非 应答 广播	网络变量 NV 选择器	CRC 循环 冗余码 校验

图 9.3-24 EIA 709.1 (LonTalk) 12 字节典型数据包 (数据帧)

### 8.1.13 LonWorks 建筑设备监控系统体系结构(见图 9.3-25)

### 8.1.14 LonWorks 网络接口和路由器产品汇总(见表 9.3-19)

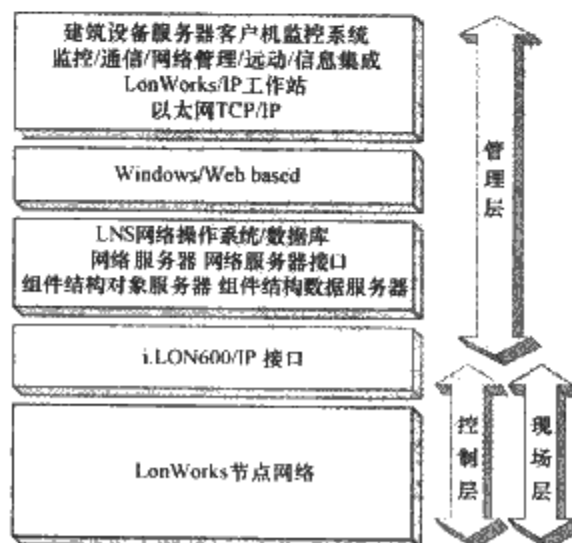


图 9.3-25 LonWorks 体系结构



表 9.3-19 LonWorks 网络连接设备/网络接口设备和路由器 (2005 年)

序号	Echelon 公司产品型号	产品名称	概 述	特 点	备 注
1	LPR * 42100 FT10/FT10 * 42101 FT10/XF78 * 42102 FT10/XF1250 * 42103 XF78/XF78 * 42104 XF78/XF1250 * 42105 XF1250/XF1250	路由器	连接两个通道, 管理网络通信, 增加设备总数或系统中布线的总量	可以从模块前面板上的插孔连接网络	* 2 个 Neuron 3150 * 用 16~30VAC 或 VDC@4.75A 供电
2	PCLTA—21 网络适配器 * 74501 (PC—FT10) * 74502 (PC—XF78) * 74503 (PC—XF1250) * 74504 (PC—RS485)	内插式适配器 (插入 32 位 PC 机 PCI 插槽的 PCI 接口卡)	4 种网络与 PC 机接口	* Plug&Play “即插即用” * LNS 网络服务器接口	* Neuron 3150 芯片 * 58kbytes SRAM * PCI 插槽 * 350mA max@5VDC
3	i. LON10; * 72010 (FT10)	以太网适配器 Ethernet Adapter	LonWorks 网络 连接到 TCP/IP 以太网的接口	* 10Mbit/s 以太网 RJ45 接口, 10BASE-T * 每秒传送 200 个数据包	* 支持电力线或双绞线的 LonWorks 通道 * 支持局域网及广域网, 包括 TCP、HT-TP、DNS、NAT、MD6、DHCP
4	i. LON10 * 72011 (PL—20N 或 PL—20C 电力线)				
5	i. LON100FT10 * 72101—300 * 72101—308 * 72102—300 * 72102—308 * 72103—300 * 72103—308 * 72104—300 * 72104—308	Internet 服务器	新产品 i. LON100e3; 可以把 LonWorks 控制网、ModBus 控制网以及 MeterBus 仪表网连接到以太网, 提供 10/100BASE-T 以太网的 RJ45 接口, 以及一个 RS485 和一个 RS232 串口, 可完成 RNI 和 VNI 的连接, 如: * 72101—300 i. LON100e3FT (支持 RNI 远程网络接口) * 72101—308 i. LON100e3FT 带 IP852 路由 (支持 VNI 虚拟网络接口)		
6	i. LON600 FT10/XF78 * 72601 (220V) * 72603 (24V)	LonWorks/IP 服务器	CPU 处理器 AMD Au1000 32bit RISC Neuron 3150 芯片 提供 10/100BASE-T 以太网的 RJ45 接口以及 1 个 RS232 串口; 每个 IP 通道可以连接 256 个 i. LON600; 支持 FT10 和 XF1250 两种网络; 兼容 EIA709.1 和 EIA 852 两种协议; 24VAC/DC 或 220VAC/DC 电源输入		
7	i. LON600 XF1250 * 72602 (220V) * 72604 (24V)				
8	MPR—50 Multi—Port Router * 42150	多通道路由器	1 条 XF1250 通道和 4 条 FT10 通道 电源 24VAC 或 VDC@500mA		
9	SLTA PCC—10 网络适配器	Type II PC 卡 (PCMCIA 卡), 通过电脑的 15 针连接器来连接 FT—10 LonWorks 网络, 适用于小型控制系统 PCC—10 电缆型号为 32000180—004 注: PCMCIA 指个人计算机存储卡国际协会			
10	SLTA—10 网络适配器	外置式适配器, 通过 PC 机 RS232 串口连接 LonWorks 网络, 适用于小型控制系统或连接调制解调器			
11	U10—USB 网络接口设备 * 75010 FT10	使用本设备, 用 PC 机的 USB 串口连接 FT—10 LonWorks 网络 供电电源 5VDC@50mA			

## 8.2 KNX (欧洲标准 EN13321/EN50090)

1998 年, EHS、Batibus 和 EIB 三个现场总线标准各自独立地被 CEN TC 247 接受为建筑设备监控系统的现场层现场总线标准, 为了适应各种规模和用途的建筑设备监控系统的需要, 欧洲家居系统现场总线协会 (EHSA)、Batibus 现场总线国际俱乐部 (BCI) 和欧洲安装总线协会 (EIBA) 成立了 KONNEX 协会, 把三个标准集成为一个标准, 注册商标是 KNX。继 2003 年 12 月 “KNX 标准” 成为欧洲标准 EN50090 《家居和建筑设备控制标准》之后, 2006 年作为 CEN TC247 的现场层现场总线标准的 KNX 成为欧洲标

准 EN13321。

在 KNX 中, 由于 EIB 现场总线标准没有任何改变即可融入 KNX, 其他两种现场总线在融入 KNX 标准时, 只有一部分保持不变, 因此, 可以认为 KNX 是以 EIB 为基础的现场总线标准综合体 (见图 9.3-26)。

### 8.2.1 KNX 标准的三种控制模式

KNX 标准根据控制复杂程度, 分成三种控制模式, 在系统中混合应用 (见图 9.3-27)。

1) 系统模式 (S-mode, System-mode)。最高级别控制, 使用可自由编程控制, 设备全部与网络相连。

2) 简易模式 (E-mode, Easy-mode)。简单组态控制,



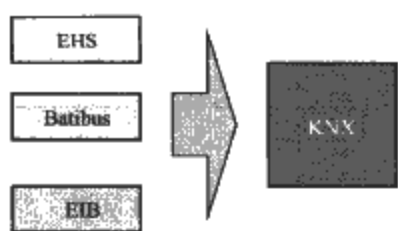


图 9.3-26 EN13321/KNX 现场总线标准

使用预编程，进行参数设置控制。

3) 自动模式 (A-mode, Automatic-mode)。末端设备控制，无需编程，用于家用电器控制。

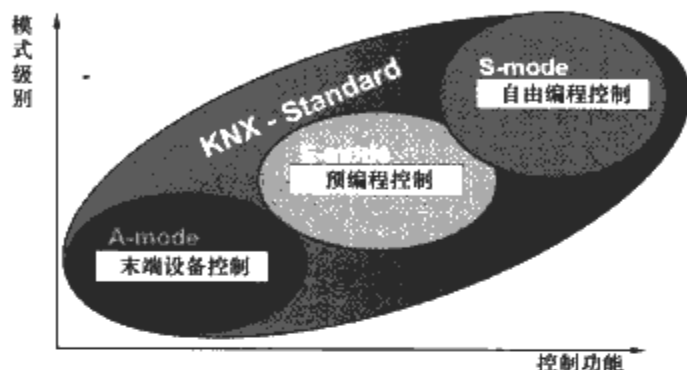


图 9.3-27 KNX 的三种控制模式

### 8.2.2 KNX 标准规定的通信媒体

根据三种控制模式，KNX 规定了 5 种通信媒体，用于不同的现场总线。

- 1) TP—0 双绞线。4800bit/s，用于 Batibus。
- 2) TP—1 双绞线。9600bit/s，用于 EIB。
- 3) PL—110 电力线载波。110kHz，1200bit/s，用于 EIB。
- 4) PL—132 电力线载波。132kHz，2400bit/s，用于 EIB。
- 5) RF 无线传输。38.4kbit/s，用于 KNX。

### 8.2.3 KNX/EIB 欧洲安装总线 (EIB Device Network Protocol)

KNX/EIB 是一个用于家居和建筑的现场总线标准。标准规定了基础部分和系统部件，例如总线耦合单元 (BCU)、电源 (PSU)、总线接口单元 (BIU)、线路路由器 (LC)、主干路由器 (BbC)、RS232 接口等。

### 8.2.4 KNX/EIB 现场总线通信协议分层模型

EIB 的通信分层模型共 5 层，第 6 层表示层和第 5 层会话层未加定义 (见图 9.3-28)。

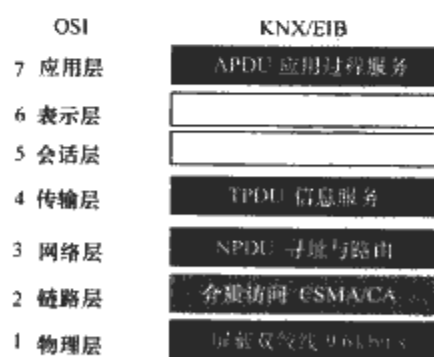


图 9.3-28 KNX/EIB 通信协议模型

#### (1) 物理层 (屏蔽双绞线)

物理层规定通信物理介质、网络几何拓扑、数据通信速度、节点数量、总线长度、电源、物理信号等。

1) EIB 可以使用双绞线、电力线载波、无线等通信媒体。

2) 双绞线物理层必须采用屏蔽双绞线 (与 LonWorks

不同); 可以接成总线型、星型和树型拓扑网络结构; 通信速度 9600bit/s; EIB 总线节点称为 EIB 终端设备 (EIB End Device, EED), 每个总线型物理段, 称为线, 可以连接 63 个节点 (与 LonWorks 相同), 采用中继器 (桥) 后, 每个物理段可以连接 127 个节点 (与 LonWorks 相同), 网段连接成树型 (使用 4 个中继器), 可以有 255 个节点; 每 3 个物理段通过中继器 (桥) 组成一条线, 每条线最多 255 个 EED, (通常都是 64 个 EIB 设备)。每物理段总线长度 1000m; 两个节点之间最大距离 700m; 每个网络最多 256 个物理网段, 所以每个 EIB 网络最多可达 65 280 个节点 ( $256 \times 255 = 65\,280$ )。

在每条线只连接 64 个 EIB 设备时, 称为 EIB 系统的基本单元, 通过 15 个线路路由器 (LC), 即路由器之一, 把最多 15 条这样的线组成一个区, 最多 15 个区, 通过 15 个主干路由器 (BbC), 即路由器之二, 连接成为一个 EIB 系统, 所以这样的—个 EIB 系统可以连接  $64 \times 15 \times 15 = 14\,400$  个 EIB 设备, 每条线长 1000m, EIB 系统总线长度总计  $15 \times 15 \times 1000 = 225\text{km}$ 。EIB 系统连接, 或与第 3 方系统集成。

3) 屏蔽双绞线铜缆直径最小 0.8mm, 最大 1.0mm; 每米最小 5 绞; 要求屏蔽, 引出线径最小 0.4mm; 分布电容 100nF/km; 回路电阻最大 75Ω/km; 由于信号有正负极性 (与 LonWorks 不同), 所以双绞线要求颜色区分成红正/黑负或黄正/白负, 屏蔽层要求接地, 但不得连接到 EIB 设备的电气地线中。

#### (2) 数据链路层

数据链路层把 bit 流组成数据帧, 并以其为单位传输, 帧中包括地址、控制、数据及校验码等信息, 使用网络层的服务 (物理层), 规定介质访问控制 (MAC) 和数据逻辑链接控制 (LLC), 向网络层提供服务, 称为链路层协议数据单元 (LPDU)。

1) 采用载波监听多路访问/避免冲突协议 (CSMA/CA)。

2) 每个 EIB 设备都有一个物理地址, 在一条线路上是独一无二的, 由于路由器永远占用地址“0”, 所以 8bit 设备地址为  $256 - 1 = 255$  (1~255)。在一个区域内, 一条线路地址也是独一无二的, 4bit 线路地址为 16 (0~15); 在一个 EIB 网络内, 区域地址也是独一无二的, 4bit 区域地址为 16 (0~15)。因此, 设备地址共计  $255 \times 16 \times 16 = 65\,280$ 。

3) 每个 EIB 设备可以有超过 1 个以上的“组”地址, “组”地址由两个字节组成, 是目的地的地址。这种多址通信组编址, 使每个设备由于公布几个单独的有效对象 (组), 可以独立于其他对象编组, 使该设备成为网络有效共享资源, 这是组编址的优点。

每个 EIB 设备如果“组”地址是 0, 即目的地的地址为“0”, 则要求该数据帧广播传送。

4) 帧结构, 包括地址码、控制码、数据码和校验码, 地址码包括源地址和目的地地址。

5) 帧发送采用面向字符通信协议, 传输控制字符包括 ACK (确认)、NAK (否认)、BUSY (忙)、UART (通用异步收发)、Poll—Data (轮询—数据)、FILL (填充) 等。

#### (3) 网络层

网络层控制路由器数量和中继器数量, 解决带有组地址作为目的地地址的数据帧能够从源地址到达目的地地址的路径问题, 称为网络层协议数据单元 (NPDU)。

#### (4) 传输层

传输层为根据通信关系确立的数据提供可靠传输, 所谓通信关系是指那些用户在第4层上送建立的互相通信的逻辑通道, 包括一对多(多点传送)、一对全体(广播)、一对一通信等, 称为传输协议数据单元(TPDU)。

#### (5) 应用层

应用层提供大量的各种服务, 根据传输层的不同的通信关系, 有各种不同的应用。例如, 多点传送, 有“读”、“写”服务, 一对一通信, 有“读”、“写”、“设定”、“批准”等, 称为应用协议数据单元(APDU)。

#### 8.2.5 典型 KNX/EIB 数据包 (见图 9.3-29)

OSI 层数	2 数据链路层-地址					3	2	4	7				2
字节 编号	0	1	2	3	4	5		6	7	8	—	21	22 (Max.)
内容	优 先 级	源 区 线	源 设备	目的地 组址/ 物理址		控 制 域	数 据 长 度	传 输 控 制	用户应用控制及数据 Max.14字节				校 验
位 bit	8	8	8	16		4	4	8	Max.112				8

图 9.3-29 KNX/EIB 数据包

#### 8.2.6 KNX/EIBnet

为了解决 KNX/EIB 现场总线网络 EIB Device Network 在 IP 网络中的运行问题, 2001 年 KNX 采纳 EIBnet, 即 KNX/EIB-ANubis (Advanced Network for Unified Building Integration Services), 作为基于 IP 网络的 KNX 系统互联网通信协议。KNX/EIBnet 与 BACnet/IP、LonWorks/IP 相似, 把控制层和管理层用 IP 网络连接起来, 使建筑设备监控系统控制网络与 IP 网络连接成为一体。每个 KNX/EIB 系统最多可以连接  $15 \times 15 \times 63 = 14\,175$  个 EIB 设备(传感器、执行器、控制器)和  $15 \times 15 = 225$  个路由器等网络设备(见图 9.3-30)。

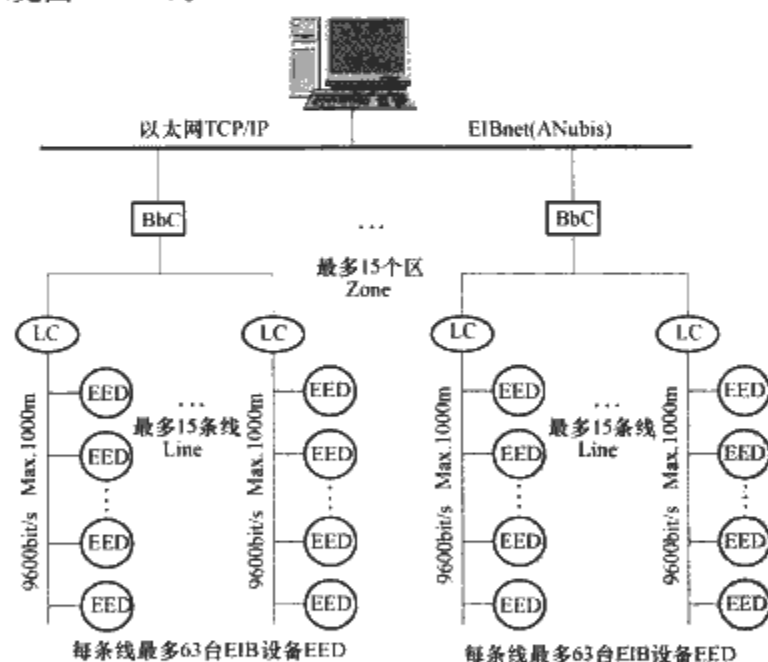


图 9.3-30 KNX/EIBnet 系统

#### 8.2.7 KNX/EIB 体系结构 (见图 9.3-31)

### 8.3 仪表总线 (Meter Bus) (欧洲标准 EN 1434—3)

#### 8.3.1 概述

国家标准《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005) 第 5.5.12 条规定: “采用集中空气调节系统的公共建筑, 宜设置分楼层、分室内区域、分用户或分室的冷、热量计量装置; 建筑群的每栋公共建筑及其冷、热源站房, 应设置冷、热量计量装置”, 以提高用户节能意识。

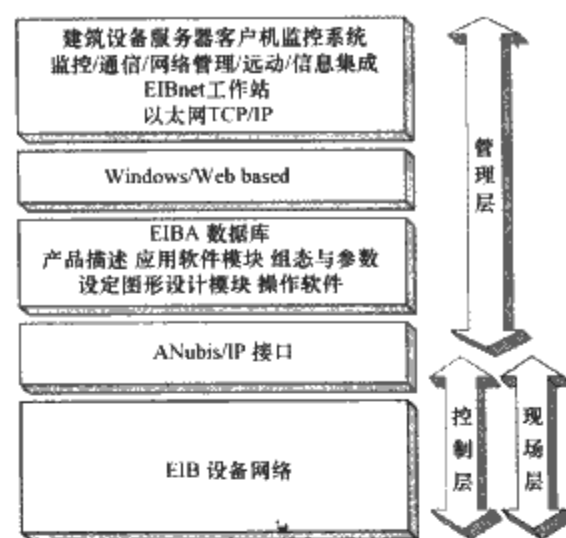


图 9.3-31 KNX/EIB 体系结构

冷、热量计量装置包括流量计、配对温度传感器和积算器三部分, 简称热量表, 能对冷热量进行测量与计算, 并以此成为计费结算依据。

基于欧洲标准 EN 1434—3, 德国 Paderborn 大学 Horst Ziegler 博士与德国 Texas 仪器公司、Techem 公司合作, 1997 年开始开发现场总线 Meter Bus, 简称 M-Bus。

M-Bus 热量表系统连接示意图 9.3-32 所示。

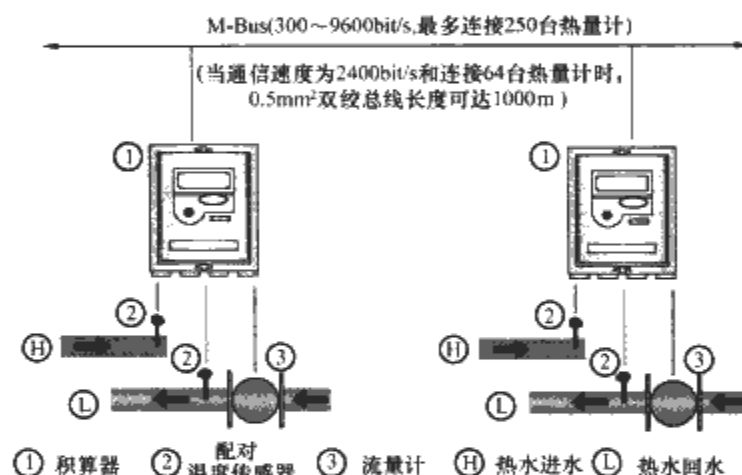


图 9.3-32 M-Bus 连接热量计

M-Bus 作为现场总线, 主要用作冷热量表、燃气表、水表等设备的数据远传; 根据具体情况, M-Bus 还可以作为输入/输出模块的数据传输总线, 包括脉冲计数输入 (PI)、数字量输入 (DI)、数字量输出 (DO)、模拟量输入 (AI) 等。总之, M-Bus 是建筑设备控制系统现场层适用的具有开放系统性质的国际标准现场总线之一。

#### 8.3.2 M-Bus 系统结构图

M-Bus 可以形成三层网络结构: 从控制器连接或控制总线接口连接一条 M-Bus; 也可以形成二层结构: M-Bus 通过管理总线接口与管理层 (以太网) 连接, 如图 9.3-33 所示。

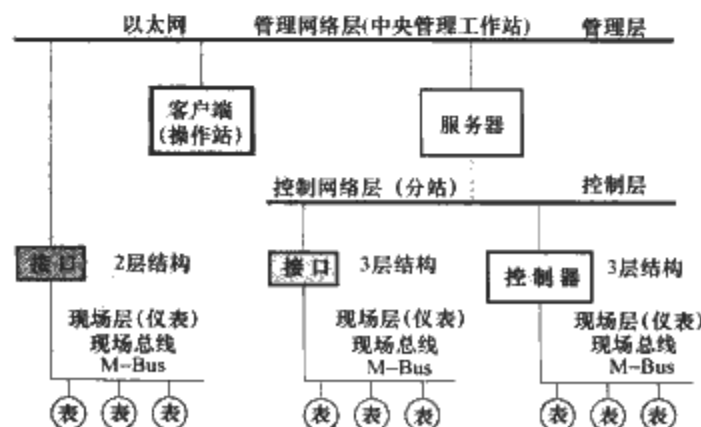


图 9.3-33 M-Bus 的 2 层、3 层网络结构示意图

### 8.3.3 对热量表（冷、热量）监控网络的一般要求

- 1) 自由拓扑网络结构，可以连接成星形、环形、总线型。
- 2) 数据通信总线传输距离足够长，例如超过 1 000m 或更长。
- 3) 现场总线安全性能良好，例如热量表联入 M-Bus 时，要求两线均附加防止总线短路的串联保护电阻。
- 4) 网络抗干扰能力好。
- 5) 网络安装成本低廉，采用非屏蔽双绞线且接线时无极性要求，热量表接口设备简单耐用，热量表功耗小且可以通过现场总线供电和自备使用 5 年以上电池供电，网络可以随时增加热量表设备。
- 6) 数据传输可靠，串行数据传输完整正确，传输速度符合实际需要，以保证能耗计费准确和及时。
- 7) 数据传输具有多重数据保护（例如，每个字符奇偶校验位、每帧校验汇总和帧保护）。
- 8) 采用单向数据传输的半双工方式通信，由正在传输数据的仪表决定“时间点”数据（日期和时间）。
- 9) 接收单元被要求永远准备好接收数据，与该接收单元的内部工作模式或操作状态无关。

### 8.3.4 仪表总线 M-Bus 系统结构

M-Bus 系统是由单一主站 Master（中央分配逻辑单元）和一些并行连接在每条 M-Bus 上最多 250 个从站 Slave（末端仪表设备）组成，网络电压 40Vdc（见图 9.3-34）。

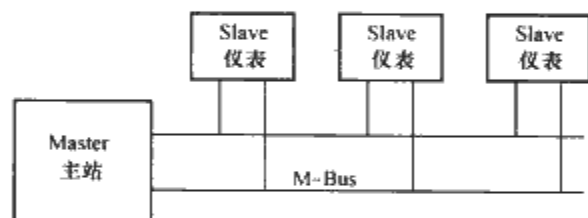


图 9.3-34 M-Bus 系统连接示意图

M-Bus 总线长度见表 9.3-20。

表 9.3-20 M-Bus 总线长度实验数据

通信速度 (bit/s)	导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	仪表个数	总线最大长度 (m)
2400	0.5	128	350
2400	0.5	64	1 000
2400	1.5	64	3 000
300	1.5	16	5 000
300	1.5	1	10 000

### 8.3.5 仪表总线 M-Bus 协议通信模型

M-Bus 是一条无屏蔽、无极性、双芯、半双工、异步、低位先传、带确认响应的串行低速、主从式数据通信总线，非常适用于自动抄表系统。

#### (1) 管理层

国际标准化组织 ISO 的开放连接模型 OSI 把网络通信功能划分为 7 个层次，由于 M-Bus 只是一条采集数据的通信总线，不是网络，所以在 7 层模型中，没有涉及网络功能，因而不包括第 6 层、第 5 层和第 4 层，第 7 层则是按照 EN 1434—3 的规定，描述了一个读表的标准；此外，由于 OSI 7 层模型不能被邻接的较高一层修改速度和地址，因此，M-Bus 为了改变通信速度或地址等参数，在 OSI 的 7 层模型上面，增加了一个管理层，以便对 1 层、2 层、3 层、7

层进行控制，见图 9.3-35 和表 9.3-21。

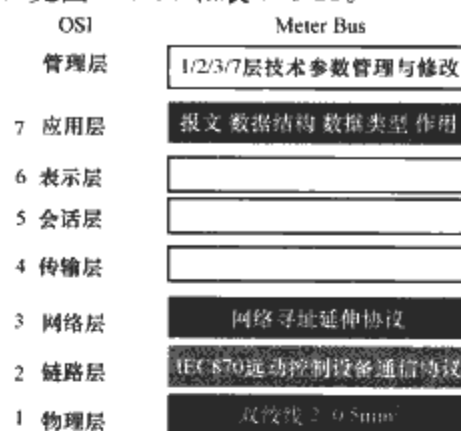


图 9.3-35 M-Bus 通信协议模型

表 9.3-21 M-Bus 通信模型

OSI 7 层	名称	功 能	相应国际标准
	管理层	1/2/3/7 层技术参数管理与修改 (通信速度/地址等)	M-Bus
7	应用层	报文，数据结构、数据类型、作用	EN 1434—3
6	表示层	未定义	
5	会话层	未定义	
4	传输层	未定义	
3	网络层	寻址延伸（可选）	
2	链路层	帧表示，传输参数，报文格式， 寻址，完整性	IEC 870
1	物理层	Bit 位示，电缆、电气规格， 线延伸，总线拓扑	M-Bus

注 IEC 870《远动控制设备与系统》，由 6 部分组成：概述、操作条件、接口（电气参数）、执行要求、通信协议（M-Bus 采用）、远方控制通信协议与 ISO 和 ITU-T（国际电信联盟电信标准化部）规定的兼容性（OSI 1~4 层）。

#### (2) 物理层（Physical Layer）

物理层以 bit 为单位，规定 Master 与 Slave 之间的电缆、电气规格，总线延伸和总线拓扑。

#### (3) 数据链路层（Data Link Layer）

基于帧结构，M-Bus 数据链路层的通信协议部分地采用电力远动系统设备控制的 IEC 870—5 标准《远动通信协议》的第 5 子项 IEC 870—5—5。该协议由 5 个子项构成，分别是 1990 年的“传输帧结构”，1992 年的“链接传输过程”，1992 年的“应用数据的一般结构”，1993 年的“应用信息的定义及编码”和“基本应用功能”，第 5 子项“基本应用功能”包括远动控制任务标准、电能累计传输标准和通信保护。

#### (4) 网络层

第 3 层网络层用于解决信息传输的最佳路由。

#### (5) 应用层

第 7 层应用层的通信协议是欧洲标准 EN 1434—3，该标准用于热量表的数据交换，也适用于自来水和燃气等媒体参数的计量。

应用层处理各种仪表的各种记录数据内容、信息传送的顺序和应用数据的类型，M-Bus 制定了用户数据的一系列规定及编码，包括报文标题头（产品生产流水号、制造厂名称编码、版本、仪表种类、访问次数、状态、数字签名）、

格式化的仪表记录数据结构、Master 呼叫和 Slave 响应、信息长度、信息类型等，构成全部以编码为基础的 M-Bus 现场总线通信协议。

通信协议主要是由 1 个字节 (00~FF) 组成的控制符 (CIF) 主导，掌握 M-Bus 仪表数据采集的全部通信过程，它控制信息传输的应用数据、仪表状态 (仪表应用程序错误、仪表报警) 等信息与数据传输顺序，通信协议包含一系列各种不同功能的编码的组合，例如，其中的仪表类型符编码 (DTC)，规范了 M-Bus 可以使用在建筑节能应用领域的各种能量载体的计量仪表 (见表 9.3-22)。

表 9.3-22 M-Bus 仪表类型符编码 DTC

仪表类型	2 进制编码 b	16 进制编码 h
其他类	0000 0000	00
燃油	0000 0001	01
电气	0000 0010	02
燃气	0000 0011	03
热量	0000 0100	04
蒸汽	0000 0101	05
温水 (30~90℃)	0000 0110	06
水	0000 0111	07
热量成本分配算符	0000 1000	08
压缩空气	0000 1001	09
冷量表 (体积流量, 回水温度, 出水)	0000 1010	0A
冷量表 (体积流量, 流体温度, 进水)	0000 1011	0B
热量表 (体积流量, 流体温度, 进水)	0000 1100	0C
冷、热量负荷表	0000 1101	0D
总线/系统组件	0000 1110	0E
未知载热媒体	0000 1111	0F
预留	...	10 到 14
热水 (≥90℃)	0001 0101	15
冷冻水	0001 0110	16
冷、热水表	0001 0111	17
压力	0001 1000	18
模/数变换器 (A/D)	0001 1001	19
预留	...	1Ah 到 FFh

#### 8.4 Modbus (中国标准 GB/T 19582—2008)

Modbus 是建筑设备监控系统中较多使用的现场总线之一，主要用在变配电控制系统的数据通信网络中，Modbus 也是我国推荐的国际标准 GB/T 19582—2008。

1979 年可编程序控制器供应商 Modicon 公司开发基于主/从式通信基础的现场总线标准 Modbus，物理层最初运行在 RS232，后来扩展到 RS485，之后又推出采用令牌制传送的网络型通信协议 Modbus Plus，而 TCP 端口号为 502 的 Modbus 与 IP 网络互连的标准 Modbus TCP 已经成为 IEC61158 系列的国际标准之一。

Modbus 是在 OSI 模型第 7 层应用层上的报文传输协议，Modbus 标准有 3 种：Modbus、Modbus Plus 和 Modbus TCP，而 Modbus 本身又有 Modbus ASCII 和 Modbus RTU (Remote Terminal Unit) 之分 (见图 9.3-36)。

Modbus 总线标准的特点包括：

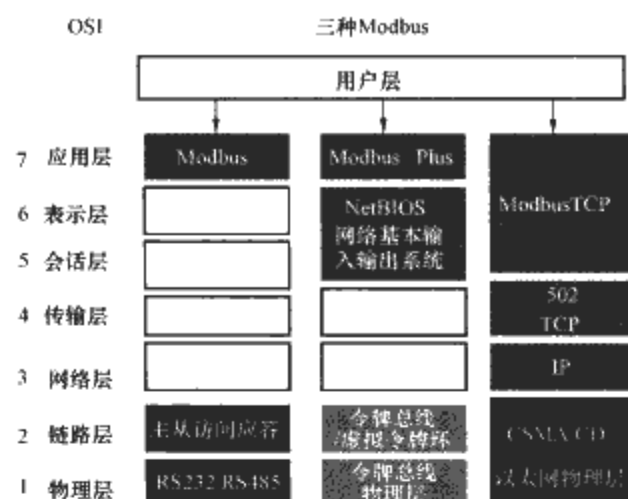


图 9.3-36 三种 Modbus 通信协议模型

1) 通用 Modbus 总线物理接口符合 RS485 规定，也支持 RS232 接口，数据传输速率 1.2~19.2kbit/s，组成主从访问的单主控制网络，采用轮询和每问必答技术。

2) 提供 Modbus Plus 网络通信协议，支持采用网桥构成更大规模网络，数据传输速率可达 1Mbit/s，可组成令牌环控制网络。

3) 采用 PAD 封装技术，提供 Modbus TCP 网络通信协议，支持 IP 网络运行环境，采用分级分布式控制，现场层采用通用 Modbus 协议或 Modbus Plus，控制层及管理层采用 Modbus TCP。

4) 通用 Modbus 总线通过简单的通信报文完成对从站的读写操作。

5) 支持 DI、DO、AI、AO 四类数据信息。

6) 通用 Modbus 总线在主站轮询从站时，被轮询的从站必须回答一个应答信息。从站应答是发送相同的报文帧，包括起始码、从站地址、功能确认、返回数据、校验码以及帧结束码。

7) 通用 Modbus 总线主站可以对网段上所有从站进行广播通信。

##### 8.4.1 Modbus ASCII 和 Modbus RTU

Modbus 包括 Modbus ASCII 和 Modbus RTU。

Modbus ASCII 采用 ASCII 格式报文 (美国信息交换标准代码，American Standard Code for Information Interchange)，以“:”冒号开始，以两个回车换行符结束，每个字节 (8bit) 传输 2 个 ASCII 字符，这种方式的主要优点是字符发送的时间间隔可达到 1s 而不产生错误。

Modbus RTU 采用 0~255 二进制格式报文，以传递一段空闲时间开始 (一般取 4 个字符时间间隔，T1、T2、T3、T4)，并以同样 4T 空闲时间标志报文的结束，每个字节传输 2 个 4bit 的 16 进制字符，这种方式的主要优点是：在同样的波特率下，可比 ASCII 方式传送更多的数据 (见表 9.3-23)。

表 9.3-23 Modbus ASCII 与 Modbus RTU 的比较

比较内容	Modbus ASCII	Modbus RTU
字符	ASCII 0~9 和 A~F	二进制 0~255
错误校验	LRC	CRC
帧起始	“:”	4 字符空闲
帧结束	字符 CR/LF 回车换行	4 字符空闲
起始位 bit	1	1
数据位 bits	7	8
停止位 bit	1	1

(1) Modbus ASCII 报文帧 (见表 9.3-24)

表 9.3-24 Modbus ASCII 报文帧

起始码	地址码	功能码	数据码	校验码	结束码
1 字符	2 字符	2 字符	N 字符	2 字符	回车换行符 2 字符

(2) Modbus RTU 报文帧 (见表 9.3-25)

表 9.3-25 Modbus RTU 报文帧

起始码	地址码	功能码	数据码	校验码	结束码
T1T2T3T4	8bit	8bit	N×8bit	16bit	T1T2T3T4

(3) 地址码

0~247, 被查询的从站地址, 0 地址表示广播地址, 所有从站接收信息。1~247 表示单独接收信息的节点地址。

(4) 功能码

1~255, 用于说明从站需要完成的功能。

(5) 数据码

1~N 字节, 输入输出值、设备状态、测量值等。

(6) 校验码

LRC 或 CRC 校验码。

#### 8.4.2 Modbus Plus

Modbus Plus 采用屏蔽双绞线, 传输距离 459m, 可以连接 32 个节点; 加上 3 个中继器以后, 可达 1800m, 可以连接 64 个节点; 最高数据通信速率可达 2Mbit/s (瑞典 HMS 公司 2006 年产品: Anybus Modbus Plus), 通常是 1Mbit/s。

Modbus Plus 是通用 Modbus 总线的改进版, 采用令牌总线 IEEE802.4 方式 (令牌总线/虚拟令牌环), 每个站都是逻辑环上的一个节点, 每个站都可以取得令牌而获得总线控制权。Modbus Plus 也分 ASCII 和 RTU 两种帧格式, 与 Modbus 的区别是地址码和功能码都从 1 个字节改成 2 个字节。物理上是总线拓扑, 逻辑上是环形拓扑。

Modbus Plus 在数据链路层采用面向 bit 的通信协议。这种通信控制规程是 ISO 推荐的高级数据链路控制规程 (HDLC), HDLC 采用帧格式传输, 其逻辑通信站包括主站、从站和混合站。

(1) Modbus Plus ASCII 报文帧 (见表 9.3-26)

表 9.3-26 Modbus Plus ASCII 报文帧

起始码	地址码	功能码	数据码	校验码	结束码
1 字节	2 字节	2 字节	N 字节	2 字节	回车换行符 2 字节

(2) Modbus Plus RTU 报文帧 (见表 9.3-27)

表 9.3-27 Modbus Plus RTU 报文帧

起始码	地址码	功能码	数据码	校验码	结束码
4 字节	2 字节	2 字节	N 字节	2 字节	4 字节

#### 8.4.3 Modbus TCP

2002 年 5 月产生 Modbus TCP/IP 标准 (简称 Modicon TCP), 2003 年 10 月国际行业组织 IEC (Interface for Distributed Automation) 采纳 Modicon TCP/IP, 开发 Modicon IDA 通信协议, 成为重要的工业以太网控制网络标准。

Modicon TCP 采用客户机/服务器网络结构, 在 Modbus 数据帧的功能码和时间码前面加上一个专用报头 MBAP, 以便 TCP/IP 网络传送; 使用简单方式把 Modbus 嵌入 TCP 帧。Modbus 在 TCP 注册了端口 502, 可以把实时数据嵌入到网页中, 用户利用 Web 浏览器就可以查看建筑设备接口系统的设备运行情况, Web 浏览器可以作为系统的操作终端 (见表 9.3-28)。

表 9.3-28 Modbus TCP 帧

MBAP 报头	Modbus 功能码	Modbus 数据码
---------	------------	------------

#### 8.4.4 Modbus 现场总线体系结构 (见图 9.3-37)

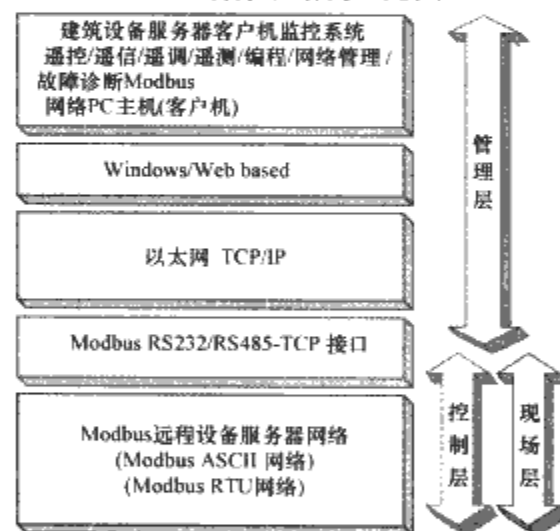


图 9.3-37 Modbus 体系结构

## 第4章 建筑设备监控系统管理层

### 1 概述

建筑设备监控系统管理层是数据网络(见图9.4-1),包括计算机、网络接口、网络设备(网卡、集线器、交换机)。

管理层的中央站(服务器+客户机)是建筑设备的监控中心,国家标准《智能建筑工程质量验收规范》GB 50339—2003第6.3.13条称之为“中央管理工作站与操作分站”,BACnet称它为BACnet OWS操作站(BACnet-Operation Work Station),LonWorks《开放式系统技术要求规范》称它为Workstation操作站,包括LNS网络服务器、数据库和人机接口,“人机接口允许操作人员与建筑设备监控系统通信,对建筑设备监控系统进行管理、下达指令、检测和编程,使用人机接口设备(PC、笔记本电脑或终端),利用LNS网络服务器接口、应用程序接口(API)为网络客户机提供服务,该操作界面可以同LonTalk网络或IP网络进行连接”,文件LonMark Facility Automation System Master Specification Division 15(15950)对操作站作了进一步解释,明确提出操作站应该具有Web Servers功能,提供HTML网页、日历、时间表控制、数据登录存储、报警管理、SOAP/XML接口、静态和动态IP地址、SMTP电子邮件报警、信息管理等具体规定,浏览器客户机要提供使用统一资源定位器(定位互联网上各种资源的位置和访问方法)完成超级文本连接。这个补充反映了网络时代对建筑设备监控系统管理层的基本要求。

管理层是高级的管理和控制应用,能够以用户容易理解的方式显示系统数据,允许用户提供发送适当的命令去控制系统,自动执行计划任务,产生系统报警和事件信息,生成综合报告,与企业信息系统共享数据,与互联网建立联系,允许远程访问建筑设备监控系统等。

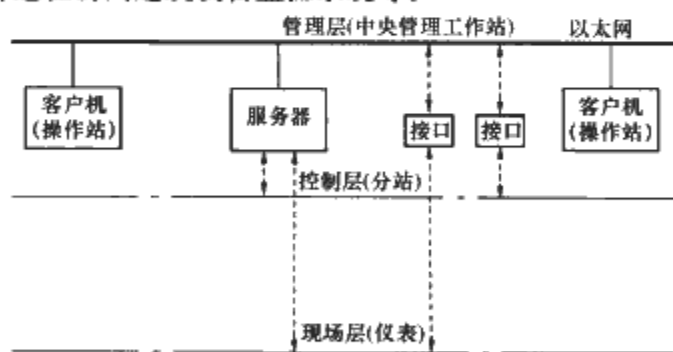


图 9.4-1 建筑设备监控系统管理层

### 2 计算机节点

管理层采用服务器/客户机结构,所以计算机节点包括服务器和客户机。服务器提供数据,客户机提出应用要求。服务器通常称为主计算机,客户机称为终端站或操作站。

2007年1月,国际标准IEC 61784《测量与控制用的数字数据通信》第2部分“实时以太网附加行规”,规定在工业控制中把管理层的计算机节点称为“带实时以太网能力的终端站”,不再使用“带实时以太网能力的终端节点”。

### 2.1 服务器和操作站

服务器是建筑设备监控系统的主计算机,数据库和网络管理软件都驻留在服务器中,24h不间断工作。

操作站是操作员使用的胖客户机,作为人机接口,对系统通过操作界面进行控制操作,包括调出系统菜单、系统组态、报警处理、事件汇总、事件存档、查询设备、调用趋势图、确认输入、切换对象、搜索资料、使用视图、制作报告、打印报告、安防控制等。

另一种Web操作站是操作人员使用的瘦客户机,通过浏览器进行系统操作。

#### (1) 服务器类型

1) 按应用规模可以分为部门级服务器和企业级服务器。如果招标文件只要求完成建筑管理系统(即以建筑设备监控系统为主体,集成火灾报警消防联动控制系统和安全防范系统),这种服务器可以称为部门级服务器,如果招标文件还要求建筑管理系统与信息网络系统和通信网络系统集成成为建筑集成管理系统时,这种服务器可以称为企业级服务器。

2) 按服务器用途可以分为通用服务器和专用服务器。建筑设备监控系统的服务器可以视为专用服务器。

3) 按服务器机箱可以分为台式服务器和机架式服务器。建筑设备监控系统通常都选用台式服务器。

#### (2) 服务器CPU指令集

1) 复杂指令集型(CISC),采用Intel公司的x86系列CPU或AMD公司的32位CPU。建筑设备监控系统管理层大部分采用这类CPU服务器,性能好、价格低。

2) 精简指令集型(RISC),采用PowerPC、SPARC、Alpha等CPU,比较适合UNIX和Linux操作系统,它们与Intel、AMD在软件和硬件方面都不兼容,有一些通用控制器采用RISC。

#### (3) 服务器主频

已经从过去MHz发展到现在GHz。

#### (4) 服务器CPU核心

1) Pentium 4,主频800MHz~3.4GHz。

2) Pentium D,双核,主频800MHz。

3) Intel Xeon,双核,主频800MHz~3.2GHz。

4) AMD Opteron,双核,主频1.8~2.8GHz。

5) Intel Clovertown,四核,主频1.6~2.66GHz。

#### (5) 服务器缓存(高速缓存)

位于CPU和内存DRAM(Dynamic RAM)之间,由SRAM(Static RAM)组成,一般为128KB、256KB、512KB。但高档CPU已经可以配置到2MB。

#### (6) 服务器内存RAM

有SDRAM、DDR SDRAM、DDR2 SDRAM三种,单条容量64~512MB。服务器最大内存容量指服务器主板最大支持内存容量,有的高达64GB。

#### (7) 服务器软驱

1.44MB, 3.5in(1in=2.54cm)。

#### (8) 服务器光驱



只读 CD-ROM、读写 CD-RW、DVD-ROM; 服务器一般配置 CD-ROM。一般为 48 倍速或 50 倍速, 单倍速为每秒读取 150KB。

#### (9) 服务器硬盘

要求速度快 (5400r/min、7200r/min、10 000r/min 或 15 000r/min)、可靠性高 (承受 300~1000g 的冲击力)、无故障平均工作时间大于 120 万 h、多使用 SCSI 接口 (Small Computer System Interface)、支持热插拔。

#### (10) 服务器随机硬盘

容量一般至少几十 GB。

#### (11) 服务器网卡

至少两个或更多。

#### (12) 服务器需要安装网络操作系统 (服务器操作系统)

- 1) Windows: Windows 2003 Server。
- 2) UNIX: 建筑设备监控系统很少采用。
- 3) Linux: 建筑设备监控系统很少采用。

#### (13) 服务器电源

包括功率、效率、纹波噪声和保护电路等技术要求。

1) ATX 标准: 125~350W、主板 20 针、4 针 12V 电源接口的开关电源。

2) SSI 标准: 中低端服务器使用其中的 EPS 规范, 300~400W、主板 24 针、8 针 CPU 电源接口的开关电源, 平均无故障工作时间大于 150 000h。

3) 市场上常见 300W、400W 两种, 服务器将以 SSI 标准为主。

#### (14) PC 操作站 (客户机)

硬件要求低于服务器, 软件无须网络操作系统, 一般 Windows XP 即可。

## 2.2 服务器和操作站的技术要求

### (1) 通则

服务器运行 Windows XP、Vista 和 2003 操作系统。操作站/浏览器 (客户机) 运行 Windows XP 或 Windows Vista、2003。

服务器 PC 机和各种控制器相连, 这些控制器与现场设备相连, 现场设备包括各种传感器、水阀/风阀执行器、继电器、火灾探测器、动静探测器、读卡器和摄像机等。建筑设备监控系统平台与各种由分布在现场的控制器组成的控制网络进行通信, 从而建立中央监控系统。这些控制器包括直接数字控制器 (DDC)、可编程序控制器 (PLC)、出入口控制器、防盗控制器、火灾自动报警控制器和 CCTV 视频监控矩阵切换器等。

操作员使用客户机 (操作站) 察看服务器的数据并进行交互。客户机软件可以独立安装在一台或多台 PC 机上使用, 也可以与服务器安装在同一台 PC 机上使用。Web 操作站可以允许那些不经常访问系统的用户使用浏览器通过互联网连接 Web 服务器, 为用户显示系统服务器提供的数据和图形。

### (2) 服务器平台

- 1) 处理器: 1.4GHz Pentium™ III 或其他。
- 2) 内存: 最小 512 MB RAM。
- 3) 键盘: 12 功能键。
- 4) 监视器: VGA 1024×768 解像度。
- 5) 显示卡: 1024×768 解像度, 65K 颜色 (4 MB 视频存储器)。
- 6) 光驱: CD ROM Drive SCSI 或 IDE。
- 7) 磁带机后备。

8) 通信适配器: 8 线串口通信适配器。

9) 网卡: 以太网 TCP/IP。

10) 操作器: 鼠标。

11) 硬盘: 10GB (NTFS)。

12) 软驱: 1.44MB。

13) 操作系统: Windows 2003。

14) 通信协议: TCP/IP。

15) 浏览器: Internet Explorer 6.0 SP1。

### (3) 操作站平台 (客户机)

1) 处理器: 1GHz Pentium™ III 或其他。

2) 内存: 最小 256MB。

3) 显示卡: VGA 1024×768 解像度, 65K 颜色 (4MB 视频存储器)。

4) 硬盘: 4GB (NTFS)。

5) 监视器: VGA 1024×768 解像度。

6) 键盘: 12 功能键。

7) 操作器: 鼠标。

8) 网卡: 以太网 TCP/IP。

9) 操作系统: Windows XP、Vista。

10) 通信协议: TCP/IP。

11) 浏览器: Internet Explorer 6.0 SP1。

## 3 数据库系统

### 3.1 概述

数据库系统是数据网络管理层的数据中心, 是建筑设备监控系统的数据源。数据库技术是提高建筑设备管理层管理功能的重要途径。

1964 年, C. W. Bachman 实现了网状数据库管理系统, 完成了对数据的集中控制和统一管理, 1971 年推动了数据库标准的制定, 1973 年 C. W. Bachman 荣获图灵奖; 1970 年 E. F. Codd 提出了关系数据库技术, E. F. Codd 荣获 1981 年图灵奖和 1996 年的 IEEE 计算机先驱奖; 1998 年, 图灵奖再次授予数据库科学家 J. Gray, 三个奖项反映了数据库系统在计算机技术发展中的重要地位。

数据库技术经历了三代发展: 网状数据库、关系数据库和面向对象数据库。

#### (1) 数据

数据是指存储在某一媒体上能够识别的物理符号。数据的概念包括两个方面: 其一是描述事物特性的数据内容; 其二是存储在某一媒体上的数据形式。

#### (2) 数据处理

数据处理是指对各种形式的数据进行收集、存储、加工和传播的一系列活动的总和。其目的之一是从大量的、原始的数据中抽取、推导出有价值的信息以作为行动和决策的依据; 目的之二是为了借助计算机科学地保存和管理复杂的、大量的数据, 以便人们能够方便而充分地利用这些信息资源。

#### (3) 数据库

数据库是与特定的主题或目的相关的数据的集合, 例如建筑设备监控系统采集的建筑环境参数集合。数据库可以理解成存放在计算机大容量存储器上的数据仓库, 数据按照一定的格式存放便于查找。可以认为数据库是被长期存放在计算机内、有组织的、可以表现为多种形式的可共享的数据集合。数据库技术使数据能按一定格式组织、描述和存储, 且具有较高的数据独立性和易扩展性, 并可为多个用户所

共享。

#### (4) 数据库管理系统

数据库管理系统 (DataBase Management System, DBMS) 是对数据库进行管理的系统软件, 它的职能是有效地组织和存储数据, 获取和管理数据, 接受和完成用户提出的访问数据的各种请求。

#### (5) 建筑设备监控系统的数据库

随着建筑设备监控系统规模的扩大, 数据在计算机系统中的地位发生了重大变化, 首先是数据量越来越大, 随着系统监控点数量的急剧增多, 导致数据量越来越多, 例如, 1983 年 5 万  $\text{m}^2$  的北京国际大厦建筑设备监控系统只有 600 个监控点, 1998 年 30 万  $\text{m}^2$  的上海金茂大厦建筑设备监控系统就已经达到 17 250 个监控点, 增加了 28 倍, 到了 2001 年, 香港地铁大厦的数字式闭路电视监控系统的 7 天图像存储数据就达到海量级的 47 215G 字节数据; 另一方面, 数据结构也由简单发展到越来越复杂, 暖通空调控制系统的数据用简单的平板型数字数据就可以反映出建筑物空气温度湿度、供回水温度压力流量、水泵速度等实时变化情况, 但是在保安出入控制系统(门禁), 包括人事资料表格数据、指纹等生物数据、个人访问区域、出入时间等, 数据结构比平板数据复杂很多。数据量的加大和数据结构的复杂化, 使计算机软件系统从以程序为主、数据为辅, 转变为以数据为主、程序为辅的状态, 逐渐形成以数据库为中心的计算机系统。数据库系统能够对数据进行集中统一的管理, 具有以程序对数据的共享作为计算机运行的特点, 这种以海量的、复杂结构的、持久的、共享数据的统一管理为目标的计算机应用软件, 就是建筑设备监控系统的数据库系统。

建筑设备监控系统管理层主要应用三种数据库技术, 包括实时数据库技术、关系数据库技术和分布式数据库技术。

### 3.2 实时数据库

实时数据库系统最早出现在 1988 年 3 月的 ACM SIGMOD Record 的一期专刊中。随后, 出现了大批有关实时数据库方面的论文和原型系统。1988 年出现的这个实时数据库技术是数据库系统的一个分支, 它适用于处理建筑设备监控系统不断更新变化的数据及具有时间限制的事务处理。实时数据库技术是实时系统和数据库技术相结合的产物, 是利用数据库技术来解决实时控制系统中的数据管理问题, 同时利用实时技术为实时数据库提供时间驱动调度和资源分配算法。实时数据库技术是管理层对控制网络的所有数据处理的管理, 针对机电设备控制的各种不同的应用需求和应用特点, 建立实时数据模型、完成实时事务调度、进行资源分配和实时数据查询、实时数据通信等工作, 因此实时数据库是建筑设备监控系统控制数据中心。

实时数据库可用于暖通空调系统控制过程数据自动采集、存储和监视。作为大型实时数据库, 可在线存储每个工艺过程点的多年数据。它提供了清晰、精确的操作情况画面, 用户既可浏览建筑设备当前的控制情况, 也可回顾过去的历史情况。

实时数据库还提供了快捷、高效的建筑设备信息。由于实时数据存放在统一的数据库中, 所有系统工作人员, 无论在什么地方都可看到和分析相同的信息, 客户机的应用程序可使用户很容易对建筑设备控制实施管理, 诸如工艺改进、质量控制、故障预防维护等。通过实时数据库可集成控制报表、维护管理、应用程序, 在物业管理和实时控制之间起到桥梁作用。

实时数据库的核心是数据存档管理, 采集并存储与机电设备控制相关的上千点的数据, 保存所有的数据是防止丢失所需信息的最好方法, 是构建历史数据库的基础。

#### (1) 实时数据库体系结构及性能

实时数据库是一个高性能、高速度、高吞吐能力、可靠性强、跨网络系统的开放式实时数据库软件。实时数据库系统是按照数据方式存储、维护和向应用程序提供数据或信息支持的系统。它是存储介质、处理对象和管理系统的集合体, 由数据库、硬件、软件几部分组成。实时数据库支持客户机/服务器和浏览器/服务器应用; 它可以提供丰富的企业级信息系统客户机应用和工具; 大容量支持企业级应用, 内部实现高数据压缩率, 可实现历史数据的海量存储, 灵活的扩展结构可满足各种需求, 具备广泛的安全性和可跟踪性(见表 9.4-1)。

表 9.4-1 实时数据库体系结构

6 应用层	界面系统		应用程序	
5 服务层	数据库组态	内部接口	对外开放接口	
4 核心层	数据区管理	输入/输出 IO 通信	网络通信	
3 内核	数据处理	时间管理	进程调度	存储管理
2 操作系统	Windows Server 2003			
1 硬件	PC 服务器			

#### (2) 实时数据库基本要求

建筑设备监控系统通常单台数据库服务器最大可运行 63 000 个点, 支持多台服务器相互通信; 支持双机热冗余的容错架构; 完全集成 Windows NT/2003/XP/Vista 安全特性。

数据库客户机可以使用胖客户机或基于 Web 服务器的瘦客户机。

#### (3) 实时数据库的数据结构

实时数据库与其他一般数据库一样, 包含一组对象及其结构。

通常, 一个基本的数据对象为“点”, 一个点由若干参数组成, 系统以点参数为单位存放各种信息。点参数对应一个可被测量或控制的对象(当然在实际应用中, 也可以不真正对应一个客观对象, 而是一个“虚拟”对象)。例如, 某个房间的温度可以作为一个测量对象而成为数据库中的一个点参数, 被测对象由温度传感器监视, 其值被周期性地采样, 并写入数据库。

点存放在实时数据库的点名称字典中。实时数据库根据点名称字典决定数据库的结构, 分配数据库的存储空间。用户在组态实时数据库时总是以点名称为主索引(主关键字)进行编辑。

### 3.3 关系数据库

关系数据库主要用于出入控制系统(门禁系统)刷卡时的人事数据管理, 也用于节能控制系统的能耗统计报表处理以及其他物业管理需要的数据管理。关系数据库应用数学方法来处理数据库数据, 是目前使用最广泛的数据库系统。

1970 年, Codd 提出的论文《A Relational Model of Data or Shared Data Banks》, 奠定了关系数据库的理论基础。“关系”就是以表格方式表达的现实世界实体的各种关系, 其中二维表是一种较为简单而又具有普遍性的一种表格, 就称二维表为“关系”, 关系数据库就是把信息存储在表格中(按行和列存储数据), 利用一张表格中的某些列的数据去查找

其他表格中的数据。在关系数据库中,行代表记录(不同项目的数据集),列代表域,在搜索时,数据库将一张表格中某个域的数据与其他表格中对应域的数据相匹配,从而产生包含了所需要的前两张表格中数据的第3张表格。关系数据库以其结构简单、使用方便、理论成熟、数学基础好、算法优越而成为数据库的主流模型。

关系数据库系统与非关系数据库系统的区别是:关系系统只有“表”这一种数据结构,一个关系数据库基本上包括一系列相互关联的表,在每一个表中存有一类与应用系统相关的数据;而非关系数据库系统还有其他数据结构,对这些数据结构有其他的操作。

建筑设备监控系统通常采用实时数据库与关系数据库的联合应用,由实时数据库解决机电设备实时控制数据,关系数据库解决出入控制和能源消耗统计、维修计划和执行等数据(见图9.4-2)。

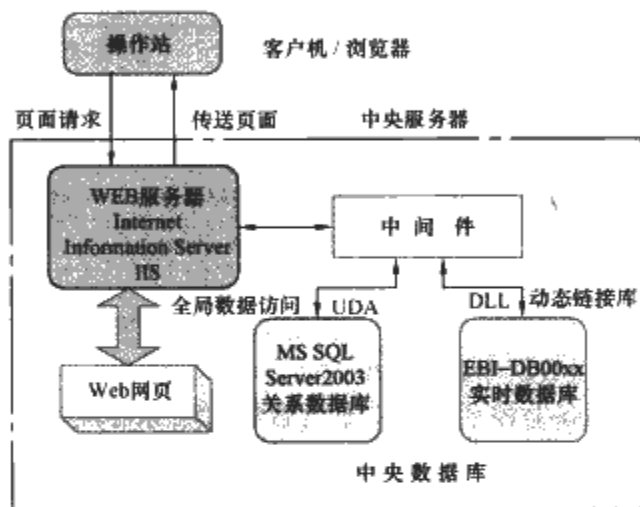


图 9.4-2 实时数据库与关系数据库的联合应用

### 3.4 分布数据库

数据库管理系统负责数据库的集中控制和管理,当所有数据都集中在计算机的外存储器中时,数据库和应用程序就在同一台计算机上运行,这种数据库系统称为集中式数据库系统,如果数据库中的数据分布存放在不同的计算机中并且通过网络把它们连接起来,就是分布式数据库,分布式数据库是数据库技术与网络技术相结合的产物,是在网络上实现的数据库。

建筑设备监控系统分布式数据库系统是由管理层中多个客户机/服务器建筑设备监控系统构成,每个子系统包括一台服务器和若干台客户机,每个子系统有自己的数据库,存放在服务器上,它们组成了整个系统的分布式数据库;客户机主要负责用户界面及应用的表示逻辑,包括应用程序开发工具、服务器的应用接口、连接软件、网络协议等,以支持应用程序的编制和运行;服务器主要负责事件处理和数据存取、数据完整性和安全性控制和数据恢复等;每个子系统均按客户机请求/服务器响应的模式工作,客户机向服务器提出某种数据、信息、服务的请求,服务器处理这些请求,并把结果或信息返回给客户机;用户既可以通过其所在的子系统客户机访问其所在子系统的服务器数据库中的数据,也可以通过客户机访问其他子系统服务器数据库的数据,完成分布式控制。这种系统称为分布式系统体系结构(Distributed System Architecture, DSA)。

DSA技术允许多个建筑设备监控系统如同一个系统一样在网络上运行,从而改进了对多系统的控制和信息访问。从数据共享这个意义上讲,DSA技术完成了数据库在不同

地理位置的分散设置和革新了那种功能受限制、容易出错误而且成本较高的传统的数据库复制方法,扩大了数据共享范围,方便了对多服务器的建筑物设备监控系统的全局集中管理,以最少的组态工作量,通过局域网/广域网的连接,完成多个建筑设备监控系统服务器的集群控制,设定的任一个“中央”站,可以全局地访问整个系统集群的所有过程点、过程报警、交互式的操作员控制信息和历史数据。在DSA技术的支持下,无需重新组态,无需复制数据库,无需消耗较多的带宽,“中央”站就可以完成全系统数据访问。

基于网络带宽和其他系统资源的考虑,建筑设备监控系统在以下情况才适宜采用DSA分布式服务器体系结构:地理上分散的系统;设备为全系统工作,如每个地区公司分部的门禁系统读卡器将为公司的全球所有雇员服务;解决单个服务器通道或控制器容量不足。

#### (1) 建筑设备监控系统分布式数据库

建筑设备监控系统分布式数据库是指由一组数据库组成,这些数据库物理上分布在建筑物自动化网络(局域网或广域网)的不同计算机服务器上,每台计算机服务器的客户机可以完成当地建筑物自动化要求的各种控制工作,具有独立处理的自治能力,同时,每个操作站也能通过网络通信执行全局应用,所有服务器中的数据在逻辑上属于同一个系统。

在建筑设备监控系统网络中的每个操作站,都有自己的数据库,自己的客户机,运行自己的数据库管理系统,执行当地的各种应用程序,是一个自治的独立的建筑设备监控系统;同时,不同场地的数据库又互相协作组成一个整体性的数据库系统,对系统的操作员来说,可以在任何一个场地执行全局性的应用程序。

#### (2) 建筑设备监控系统分布式数据库要求

首先,要求数据保持逻辑上和物理上的独立性,只有这样,应用程序才能与数据的逻辑结构和物理结构无关,以便能为各种客户所共享。分布式数据库系统中的数据独立性更加重要,除了逻辑、物理独立性以外,还要求数据分布的独立性,也称之为分布透明性,客户机不必关心数据的逻辑分片、物理位置分布等细节,执行应用程序就像数据没有被分布一样,同时,当数据从一个场地移到另一个场地时,也不必改写应用程序,省去了系统重新组态的麻烦。

其次,要求采用集中与自治相结合的控制结构,分布式数据库数据共享有两个层次,一是局部共享,即当地数据库数据供当地系统控制共享,这和原来的建筑设备监控系统没有两样。另一是全局共享,即在分布式系统的各个场地也存贮供其他场地的客户机共享的数据,支持系统的全局应用。因此,分布式数据库系统采用集中与自治相结合的控制机构。各局部的数据库管理系统可以独立地管理局部数据库,具有自治功能;同时,系统又设有集中控制机构,协调各局部数据库管理系统的工作,执行全局应用。

最后,要求全局数据一致性。分布式数据库的全局应用要涉及两个以上操作站的数据,全局事务可能由不同场地上的多个操作站操作组成,因此全局数据一致性也是基本技术要求。

#### (3) 建筑设备监控系统分布式数据库应用目的

为了适应同一管理部门地理位置分散分布,由于采用分布式数据库,可以降低通信成本,提高响应速度,加强管理效率。

此外,能够提高建筑设备监控系统的可靠性,如果系统数据分散存储,局部数据库故障就不影响全局以及避免数据

库复制技术会产生错误的可能。

最后,分布式数据库避免了建立一个大型数据库的困难,大型数据库经济投入大,组织过程复杂。

(4)建筑物设备监控系统分布式服务器体系结构(见图9.4-3)

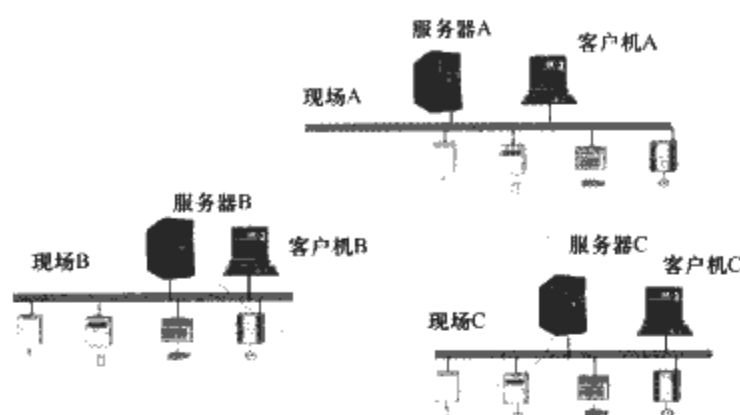


图 9.4-3 分布式服务器系统体系结构

## 4 管理层硬件通信接口

管理层硬件通信接口是指管理层连接控制层和现场层的以太网硬件通信接口,根据控制层和现场层使用的不同的通信协议,有各种现场总线的以太网硬件通信接口。本节只介绍 BACnet/IP、LonWorks/IP 现场总线网络和以太网连接的硬件通信接口,以及 RS485 总线和以太网连接的硬件通信接口“建筑网络适配器(Building Network Adaptor, BNA)”。

### 4.1 BACnet/IP

#### (1)概述

通常把 BACnet 控制网络连接到以太网管理层服务器的硬件接口设备称为“网络控制器”,因为它们一方面作为通信接口可以把一些 BACnet 控制子网连接到 BACnet/IP 信息网络中,另一方面,它们本身也是一台 BACnet 通用控制器(高级应用控制器 AAC),具有直接控制输入和输出监控点的能力,由于扩大了这种通信接口设备的功能,从而降低了控制系统的成本(见图9.4-4)。

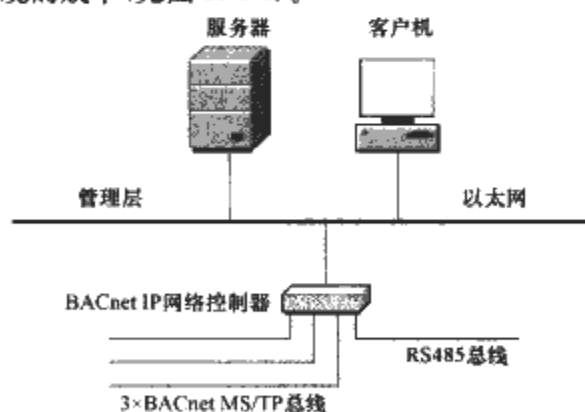


图 9.4-4 某种 BACnet /IP 网络控制器(BACnet-BC)

#### (2)产品特点

1) 通常是用于纯 BACnet 控制网络,即 Native BACnet 产品。

2) 通常由于构成网络控制器的单片机功能强大,可以拥有较大容量的存储器,因而具备成为 BACnet 服务器的基础,所以 BACnet BC 这一级产品一般制造成为 BACnet 服务器,这个网络控制器的所有监控点数据可以存储在网络控制器 BACnet BC 的存储器中,通过以太网通信接口,向位于管理层的中央工作站提供数据,此时,建筑设备监控系统的客户机只需安装 BACnet 客户机软件即可直接访问 BACnet

服务器的 BACnet 网络控制器 BACnet BC,完成与网络控制器 BC 的通信,包括数据共享、报警与事件管理、设备与网络管理,成为建筑设备监控系统的子系统之一。建筑设备监控系统的服务器可以接受这些 BACnet 网络的数据,与其他系统进行数据交互。

3) 通常基于 BACnet《BACnet-Building Controller 建筑控制器》技术条件进行生产,技术性能符合行规 BACnet-BC 的要求。

4) 内置 BACnet 路由器,无需附加任何外部 BACnet 路由器。

5) 通常采用 32 位微处理器。

6) 通常应提供专用工程软件,包括组态和编程。

7) 提供自由编程的输入输出监控点数量,用户可以对这些监控点建立各种控制。策略和时间表程序,可以调试和监控。

8) 提供 BACnet PICS (Protocol Implementation Conformance Statement)通信协议验证和测试一致性说明书。

(3)电缆规格(见表9.4-2)

表 9.4-2 BACnet/IP 通信接口电缆规格

硬件接口	最大长度(m)	美规 AWG 线号(mm)	屏蔽
RS485 MSTP	无 T 接, 1312	双绞线 18AWG, 直径 $\phi 1.02$	有
以太网 10/100Mbit/s RJ45	100	双绞线 24AWG, 直径 $\phi 0.5$	无

### 4.2 LonWorks/IP

#### (1)概述

Echelon 公司把 LonWorks 控制网络连接到以太网管理层的硬件接口设备称为“LonWorks/IP Server Model”,即 LonWorks/IP 服务器。一方面作为通信接口可以把 LonWorks 控制网络连接到 LonWorks IP 以太网信息网络中,另一方面,它们本身也是一个与 Internet 互联网连接平台,所以称之为 LonWorks/IP 服务器(见图9.4-5)。

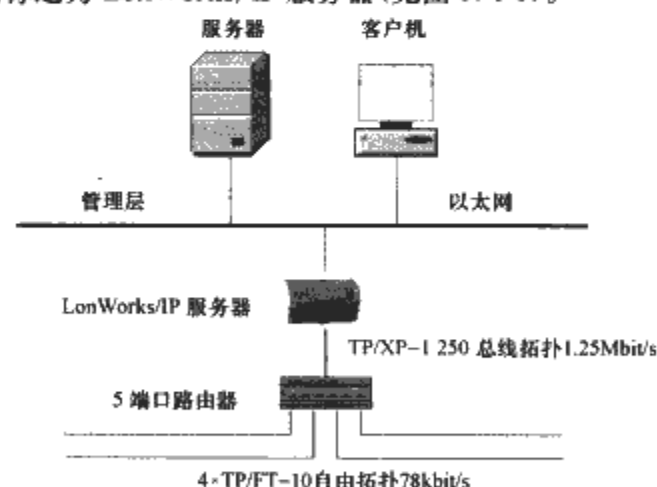


图 9.4-5 LonWorks/IP 服务器

#### (2)产品特点

1) 用于 LonWorks 控制网络与 Internet 或任何基于 IP 的局域网连接的路由器产品。

2) 提供 LonWorks 控制信息包七层通信模型第 3 层网络层的路由选择。

3) 在同一网络中,可以连接 256 个 LonWorks/IP 服务器。

4) 遵守 EIA-852 和 ANSI/CEA 709.1 协议。

- 5) 可以和服务器的 LonWroks 软件接口连接, 成为建筑设备监控系统的控制子系统。
  - 6) 采用 32 位微处理器。
  - 7) 通常应提供专用工程软件, 包括组态和编程。
  - 8) 每秒有 600~800 个数据包的吞吐量。
- (3) 电缆规格(见表 9.4-3)

表 9.4-3 LonWroks IP 通信接口电缆规格

硬件接口	最大长度(m)	美规 AWG 线号(mm)	屏蔽
TP/FT—10	T 接, 500	双绞线 18AWG, $\phi 1.02$	无
TP/XP—10	无 T 接, 1330	双绞线 18AWG, $\phi 1.02$	无
TP/XP—1250	无 T 接, 125	双绞线 18AWG, $\phi 1.02$	无
以太网 10/100Mbit/s RJ45	100	双绞线 24AWG, $\phi 0.5$	无

4.3 RS485/IP

RS485 是在建筑设备监控系统控制网络物理层使用最广泛的总线标准, 本节介绍一种称为 BNA(Building Network Adaptor, 建筑网络适配器)的以太网硬件接口, 虽然它是只能使用在某供应商提供的某种非开放总线通信协议的产品(因为各个供应商产品通信协议的 OSI 的 7 层模型第 2~第 7 层都不相同), 但是所介绍的 RS485 协议技术规格内容具有普遍性。

这种硬件接口设备可以称为 RS485/IP 服务器, BNA 一方面作为通信接口可以把 RS485 控制网络连接到 IP 信息网络中, 另一方面, 它们本身也是一个与 Internet 互联网连接的平台, 所以称之为 RS485/IP 服务器(见图 9.4-6)。

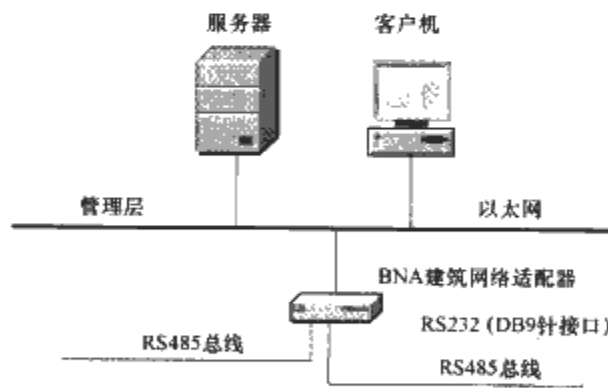


图 9.4-6 RS485/IP 服务器(BNA 网络适配器)

- (1) 产品特点
- 1) 是 RS485 控制网络与 Internet 或任何基于 TCP/IP 的局域网连接的网络适配器。
  - 2) 提供 RS485 控制信息包七层通信模型第 3 层网络层的路由选择。
  - 3) 在同一个建筑设备监控系统服务器中, 可以连接 20 个 BNA 网络适配器。
  - 4) 可以和服务器的 RS485 控制器控制系统软件接口连接, 成为建筑设备监控系统的控制子系统。
  - 5) 采用一个 32 位微处理器和另外一个通信协处理器。
  - 6) 通常提供专用工程软件, 包括组态和编程。
  - 7) 每秒有 1000 个以上数据包的吞吐量。
- (2) 电缆规格(见表 9.4-4)

表 9.4-4 BNA 通信接口电缆规格

硬件接口	最大长度(m)	美规 AWG 线号(mm)	屏蔽
RS485	1200	双绞线 18AWG, $\phi 1.02$	无
以太网 10Mbit/s RJ45	100	双绞线 24AWG, $\phi 0.5$	无

5 管理层的网络设备

5.1 网卡

服务器、操作站、通信接口均配置以太网卡。

(1) 网卡种类

- 1) 按总线接口类型: ISA、PCI、PCI-X、PCMCIA(笔记本电脑)、USB。
- 2) 按网络接口类型: RJ45、细同轴 BNC、粗同轴 AUI、光缆 FDDI、ATM。
- 3) 按带宽大小: 10Mbit/s、100Mbit/s、10M/100Mbit/s 自适应、1000Mbit/s。
- 4) 按网卡应用领域: 服务器网卡、操作站网卡。

(2) 网卡使用

- 1) 根据网络类型选网卡: 主要是双绞线 RJ45 网卡, 集线器、交换机之间的连接也可以考虑用细同轴 BNC 网卡, 很少用到粗同轴的 AUI 卡。
- 2) 建筑设备监控系统管理层主要选择 10M/100Mbit/s 自适应网卡。

5.2 集线器

(1) 概述

集线器的英文名称是“HUB”, 是“中心”意思。集线器的主要功能是对接收到的信号进行再生、整形、放大, 以扩大网络的传输距离, 同时把所有节点服务器、操作站、网络打印机、控制网络硬件通信接口集中在以它为中心的节点上。它工作于 OSI 参考模型第 1 层和第 2 层, 即“物理层”和“数据链路层”。集线器在以太网星形拓扑的网络中起着重要作用, 它把以太网总线拓扑变成星形拓扑(见图 9.4-7)。

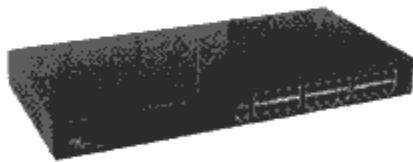


图 9.4-7 以太网集线器

(2) 集线器分类

- 1) 按端口数量: 指 RJ45 端口, 有 8 口、16 口、24 口三种。
- 2) 按带宽: 10Mbit/s、100Mbit/s、10M/100Mbit/s。
- 3) 按配置形式: 独立型(多端口单个盒子)、模块式、堆叠式。

(3) 集线器使用

- 1) 选择带宽: 最好选择 10M/100Mbit/s 自适应式。
- 2) 基于双绞线的以太网集线器主要的连接是 RJ45 插座, 建筑设备监控系统管理层局域网中的服务器、操作站、打印机、通信接口等设备通常是以双绞线连接到集线器中, 其两端为 RJ45 连接头。管理层如果需要扩大覆盖面时, 也可以使用同轴电缆或光缆。线缆长度见表 9.4-5 (ISO/IEC 8802.3)。



表 9.4-5 以太网集线器线缆长度

以太网种类	线缆长度 (m)	以太网种类	线缆长度 (m)
10Base-2 细同轴	185	10Base-T 双绞线	100
10Base-5 粗同轴	500	10Base-F 光缆	2000

### 5.3 交换机

#### (1) 概述

交换机的英文名称是“Switch”，它是集线器的升级换代产品。

交换机技术是按照通信两端传输信息的需要，自动完成把要传输的信息送到符合要求的相应路由上的技术。交换机拥有一条很高带宽的背部总线（背板交换能力）和内部交换矩阵。交换机的所有的端口都挂接在这条背部总线上。控制电路收到数据包以后，处理端口会查找内存中的介质访问控制 MAC 地址对照表（网卡的硬件地址）以确定目的 MAC 的 NIC（网卡）挂接在哪个端口上，通过内部交换矩阵直接将数据包迅速传送到目的节点，而不是所有节点，目的 MAC 表中若不存在该地址，才广播到所有的端口，但是，找到后就会把这个地址重新加入到自己的 MAC 地址列表中，下次再发送到这个节点时就不用广播的方法了，交换机的这种功能就称之为“MAC 地址学习”功能。

交换机至少是工作在第二层（数据链路层），更高级的交换机可以工作在第三层（网络层）和第四层（传输层），所以交换机通信效率高，不浪费网络资源，不易产生网络堵塞，数据传输安全，发送数据时其他节点很难侦听到所发送的信息。

交换机不像集线器一样每个端口都共享带宽，交换机的每一端口都是独享交换机的一部分总带宽，这样在速率上对于每个端口来说有了根本的保障。

交换机可以把网络“分段”，通过对照地址表，交换机只允许必要的网络流量通过交换机，可以有效地隔离广播风暴，减少误包和错包的出现，避免共享冲突。所以交换机可以在同一时刻进行多个节点之间的数据传输，每一节点都可视为独立的网段，连接在其上的网络设备独自享有固定的一部分带宽，无须同其他设备竞争使用。如当节点 A 向节点 D 发送数据时，节点 B 可同时向节点 C 发送数据，而且这两个传输都享有带宽，都有着自己的虚拟连接。例如，如果现在使用的是 8 端 10Mbit/s 以太网交换机，因每个端口都可以同时工作，所以在数据流量较大时，那它的总流量可达到  $8 \times 10\text{Mbit/s} = 80\text{Mbit/s}$ 。

集线器智能接收和发送分别进行，但是交换机采用全双工方式传输数据。在同一时刻可以同时进行数据的接收和发送，在整个系统的吞吐量方面，交换机比集线器至少要快一倍以上（实际上还远不止一倍，因为端口带宽一般来说交换机比集线器也要宽许多倍）。

交换机除了能够连接同种类型的网络之外，还可以在不同类型的网络（如 10Mbit/s 以太网和 100Mbit/s 快速以太网）之间起到互联作用。许多交换机都能够提供支持快速以太网或 FDDI 等的高速连接端口，用于连接网络中的其他交换机或者为带宽占用量大的关键服务器提供附加带宽。

#### (2) 交换机分类

1) 按传输介质和传输速度：以太网交换机（见图 9.4-8）、FDDI 交换机。

2) 按应用层次：企业级（核心级）、部门级（前沿级、底层接入级）。

3) 按交换机结构：固定端口（8 口、16 口、24 口）、模块式。



图 9.4-8 以太网交换机

#### (3) 交换机使用

1) 端口带宽选择：10Mbit/s、100Mbit/s、10M/100Mbit/s 三种组合，可以根据组网时的设备数据具体情况选择。

2) 光缆解决选择：如果必须使用光缆以解决建筑物中控室之间距离过长的问题时，可以考虑使用加装光缆与双绞线转发器，或选择有光缆接口的交换机或加光缆模块。

## 6 管理层的 UPS 电源

### 6.1 不间断电源供应系统 UPS

UPS 是英文 Uninterrupt Power Supply 的缩写。

UPS 是管理层的电源设备，连接在计算机和电源（通常为输出插孔）之间的设备，用以确保流向计算机的电流不会因为断电而被中断，在大多数情况下，还可以保护计算机免受诸如电源电流过大等潜在事件的损害。所有 UPS 单元都配备有电池和断电传感器，如果传感器检测到电源失效，它就会切换成用电池供电，这样，可以使用户能有一个时间段来保存数据和持续重要的控制工作。

### 6.2 UPS 配置

#### (1) UPS 功率设计

因为功率越大的 UPS，单位功率成本越低，同时，功率越大的 UPS，抗冲击的裕量越大，以及为了避免运行后临时又要增容，所以 UPS 应该选择功率较大的设备。

通常 UPS 额定功率应为负载功率的 120%，如果还给控制器等其他设备供电时，UPS 额定功率应为负载功率的 130%；后备满载供电时间通常不少于 30min。

#### (2) 选择在线 UPS

在线 UPS 通过整流和逆变将网端的绝大多数电源污染消除，使计算机工作更加可靠。UPS 应设置网络通信接口，连接到建筑设备监控系统网络上。

#### (3) 前端配置柴油发电机

UPS 的成本主要是电池系统。如果建筑设备监控系统要求长期提供大容量 UPS 供电保证时，由于电池成本很高和维护困难，同时电池 3~5 年通常即需更换（UPS 可以使用 10 年以上），所以应该考虑如何减少 UPS 电池容量。经过成本分析，配置柴油发电机完成一定时间段以后的和大范围的交流电源供电工作，是一种方法。



## 第5章 建筑设备监控系统控制层

### 1 概述

建筑设备监控系统控制层是控制网络，包括通用控制器、网络接口（见图 9.5-1）。

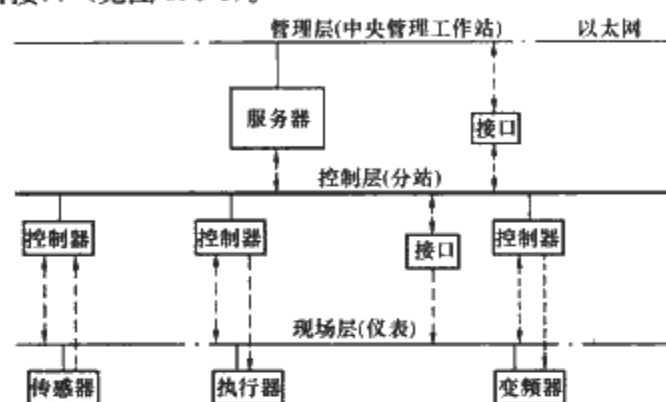


图 9.5-1 控制层设备

控制层是高级的控制和控制应用，控制层的通用控制器能够以用户容易理解的方式显示控制器数据，允许用户发送适当的命令去控制机电设备，自动执行计划任务，产生设备报警和事件控制，生成综合报告，与其他控制器共享数据等。

控制层的通用控制器是指用户可自由编程的控制器，适用于各种建筑机电设备的控制，例如冷水机组、空调机组等。国际标准 BACnet 称它为 AAC 高级应用控制器（Advanced Application Controller），LonWorks《开放式系统技术要求规范》称它为 AGC 通用控制器（Application Generic Controller），“一个包含了完整的、可配置的网络化设备或节点，该控制器通用性强，适用于多种控制任务，设备供应商为其设置了许多工程变量和组态特性，允许利用网络工具对该设备进行具体的配置”，文件 LonMark Facility Automation System Master Specification Division 15 (15950) 对通用控制器 AGC 作了进一步解释，把它称之为 PCU 可编程控制单元（Programmable Control Unit），能够与其他 LonWorks 设备进行网络通信和数据共享，这种单元配置操作系统、可编程的应用程序和故障诊断程序，是不依赖中央站的计算机或者“主”控制器。PCU 应该完全独立工作，PCU 应该提供储存在控制器存储器中的各种控制策略、顺序控制的应用程序，以使用户编程调用，特别要求提供 PID 控制回路。

通用控制器的特点是中央处理器 CPU 能力较强，存储器容量较大，作为以计算机控制为核心的控制设备，能够独立于中央计算机完成全部规定的控制应用操作。控制器软件包括完整的操作系统、通信处理、监控点处理、标准控制运算和可由用户编制的各种应用程序。

控制层的网络接口是指与管理层和现场层通信的两类接口，前者是把控制层向上连接到管理层上，后者是把控制层向下连接到现场层上。

### 2 控制层网络接口

#### 2.1 网络接口的种类

网络接口通常包括 4 种产品：中继器、网桥、路由器、

网关，它们用于网络互联，根据各层网络的具体情况使用相应产品；以 ISO/OSI 开放系统互联七层模型为参照体系的网络接口产品功能说明如图 9.5-2 所示。

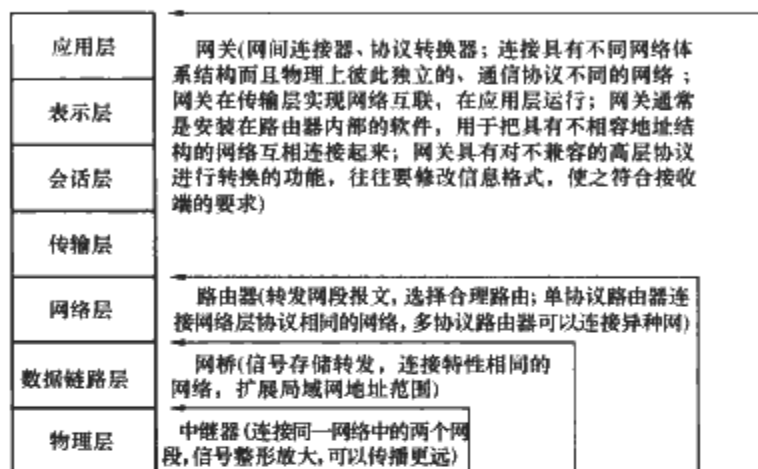


图 9.5-2 网络接口功能示意图

#### 2.2 网络通信能力

网络通信能力与网络数据通信速度有关，最高通信速度与网络带宽有关 [见第 3 章香农定理公式 (9.3.1)]，通信速度越高，通信能力越强。

##### (1) 管理层网络通信能力（以太网）

管理层以太网数据网络的数据通信速度如果采用 10Mbit/s，根据测试结果，每秒大约可以传送不少于 5000 个各类建筑设备监控点数据。

##### (2) 控制层网络通信能力

控制层控制网络的现场总线都采用中等速度通信，例如现场总线 Profibus 的控制层现场总线，通信速度主要采用 1.5Mbit/s，总线通信距离是 200m。现场总线 WorldFIP 的控制层现场总线，通信速度采用 1Mbit/s，通信距离 200m；因此，这种控制层现场总线网络的通信能力处于中等水平，在管理层网络通信速度为 10Mbit/s 时，一条控制层现场总线每秒可以传送大约不少于 1000 个监控点数据。

##### (3) 现场层网络通信能力

现场层的现场总线是直接连接微控制器的网络，为了满足建筑设备控制现场分散安装的情况，现场层网络都采用低速通信，以得到超过 1000m 以上较长的总线通信距离，所以通信速度常采用以低速通信速度，例如 2.4kbit/s、9.6kbit/s、38.4kbit/s、57.6kbit/s、76.8kbit/s 等，这种低速现场层现场总线网络的通信能力，与具体产品有关，通常为每秒传送 200 个到 1000 个监控点数据。

#### 2.3 控制层管理层网络通信接口

##### (1) 控制层管理层网络通信接口

指控制层现场总线与管理层网络以太网的通信接口，有三种类型：接口 1、接口 2 和接口 3（见图 9.5-3）。

1) 网关连接器（接口 1）。具有网关性质的网关连接器接口 1 是高速接口，一般具有“网关+路由器”功能，把不止一个控制层现场总线网络与以太网管理层网络直接连接。

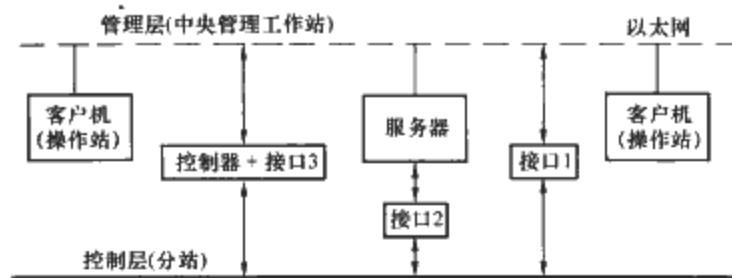


图 9.5-3 控制层与管理层的网络接口

接口 1 至少有一个连接管理层的以太网接口（连接到以太网交换机中）和一个以上的连接控制层现场总线的接口。

2) 网络适配器（接口 2）。具有网关性质的网络低速接口设备，图中表示为接口 2，是低速接口，具有“路由器”功能，把一个低速的控制层现场总线网络与管理层网络上的服务器直接连接。接口 2 可以是一块插入计算机 PCI 插槽的插卡；也可以是一个外置的串行的通过计算机 RS232 通信接口或 USB 接口连接的网络适配器，这种适配器至少有一个连接计算机服务器的 RS232 或 USB 接口和一个连接控制层现场总线的接口。

3) 网络控制器网关接口（接口 3）。与管理层网络以太网连接的网关通信接口已经集成在网络控制器中，网络控制器在作为通用控制器使用的同时，还具有网关的作用，向上连接管理层以太网，向下有路由器功能，连接现场层现场总线网络，完成管理层网络与控制层网络、现场层网络的连接。

(2) 控制层管理层网络通信接口产品

1) 网关连接器（接口 1，Echelon 公司网络连接器 i.LON600），连接管理层以太网与 LonWorks Bus（见图 9.5-4）。

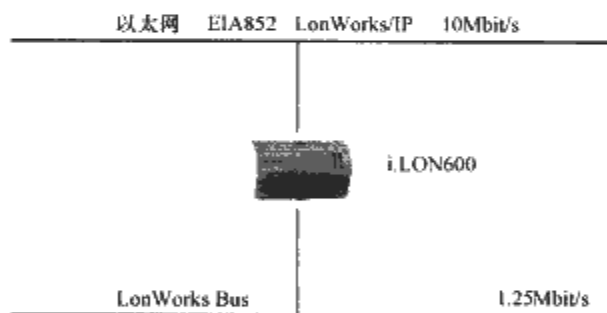


图 9.5-4 控制层网关连接器 i.LON600

2) 网络适配器（接口 2，Echelon 公司 SLTA-10），连接管理层服务器与 LonWorks Bus（见图 9.5-5）。

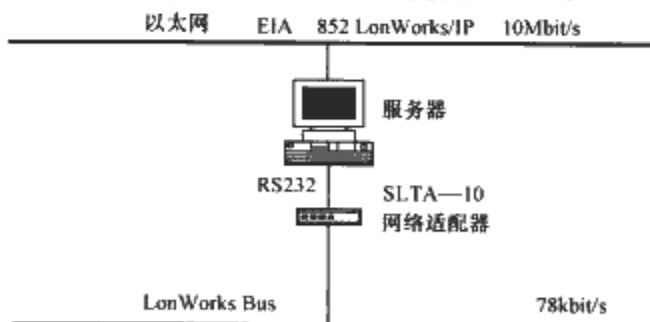


图 9.5-5 控制层网络适配器 SLTA-10

3) 网络控制器网关接口（接口 3，Honeywell 公司控制器 XL1000），连接管理层以太网与控制层 LonWorks Bus（见图 9.5-6）。

## 2.4 控制层现场层网络接口

(1) 控制层现场层网络通信接口

指控制层现场总线网络与现场层现场总线网络的通信接

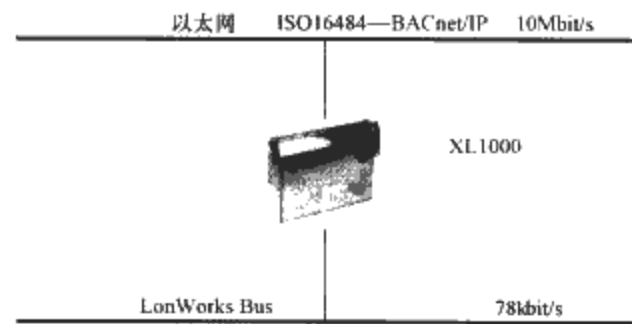


图 9.5-6 网络控制器网关接口——控制器 XL1000

口，有两种类型：接口 1 和接口 2（见图 9.5-7）。

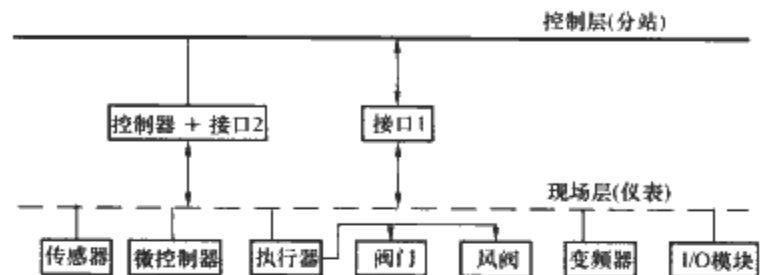


图 9.5-7 控制层与现场层的网络接口

1) 网关连接器（接口 1）。具有网关性质的网关连接器接口 1 一般具有“网关+路由器”功能，把不止一个控制层现场总线网络与以太网管理层网络直接连接。接口 1 至少有一个连接控制层的现场总线接口和一个或以上的连接现场层现场总线的接口。

2) 网络控制器网关接口（接口 2）。与控制层网络连接的网关通信接口已经集成在（网络）控制器中，（网络）控制器在作为通用控制器使用的同时，还具有网关的作用，向上连接控制层，向下有路由器功能，连接现场层现场总线网络，完成现场层网络与控制层网络的连接。

(2) 控制层现场层网络接口产品

1) 网关连接器（接口 1，Honeywell 公司网关连接器 Open Point Server），连接控制层 C-Bus 与现场层 Meter Bus（见图 9.5-8）。

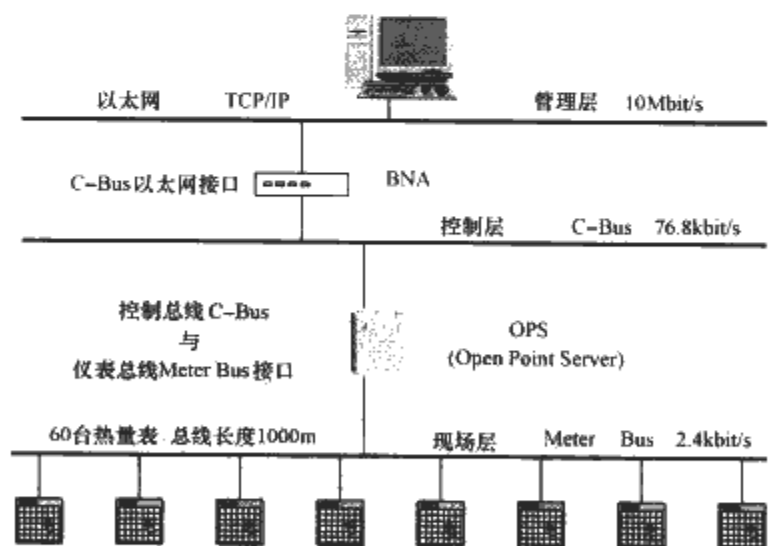


图 9.5-8 现场层网关连接器——开放式点服务器 OPS

2) 控制器网关接口（接口 2，Honeywell 公司控制器 XL50），连接控制层 C-Bus 与现场层 Meter Bus（见图 9.5-9）。

## 3 自动控制

控制层网络使用通用控制器进行建筑设备监控系统的高级自动控制，根据各种控制策略和多种逻辑运算实现建筑环境自动控制，使控制设备或过程将产生和保持期望的行为，

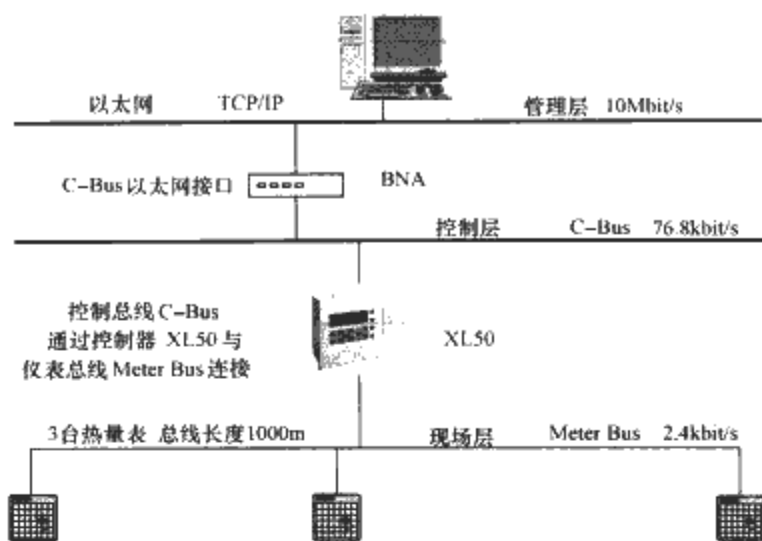


图 9.5-9 现场层网关接口——控制器 XL50

使建筑环境达到预期的规定目标。

### 3.1 概述

图 9.5-10 表示出一个闭环控制回路。闭环控制回路的特点是系统的给定量和被控量之间存在反馈回路，反馈的作用是减少系统的偏差量。如果控制器是放大器构成的控制器，就是模拟控制器连续控制过程，如果控制器是计算机构成的控制器，就是数字控制器采样控制过程。

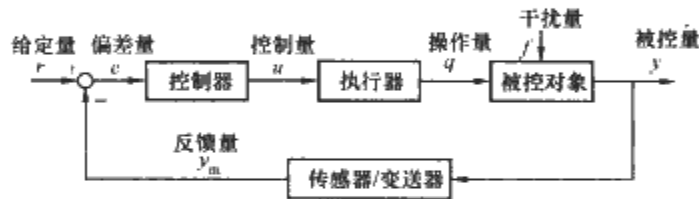


图 9.5-10 闭环控制回路

#### 3.1.1 被控对象

被控对象指建筑设备监控系统中需要对某个或某些工艺参数进行控制的设备或控制的过程。例如被控制转速的空调送风机或对空调房间内的温度、湿度、压力等参数进行控制的过程。

被控对象特性是指对象受到干扰后，被控参数随时间变化的特性，即被控对象输入参数与输出参数之间随时间变化的动态特性。用以下四个参数描述对象特性：

##### (1) 放大系数（传递系数）K

放大系数 K 表示在没有控制器的情况下，被控对象受到阶跃干扰后又重新达到平衡的性能。放大系数 K 是用于表示对象的静态特性，K 与被控量的变化过程无关，只与过程的初始状态与终止状态有关。放大系数 K 越大，系统受到干扰影响时，被控量离开给定量的偏差就越大，被控对象自身稳定性就越差，就越不容易保持平衡。例如，一个原来处于稳定温度的空调房间，突然打开电灯，进入几个工作人员，于是对空调房间产生一个阶跃扰动，被控量室内温度开始升高，在通过墙壁渗出的热也相应增加的同时，室内温度升高速度也逐渐减小，经过一段时间，室温又达到一个新的稳态值。放大系数 K 可以用被控对象输入能量与被控对象中需要改变的被控量之比来表示

$$K = \Delta\theta / \Delta Q = (\theta_{\infty} - \theta_0) / (\Delta Q)$$

式中， $\Delta\theta$  表示空调房间温度升高量； $\Delta Q$  表示阶跃干扰热量； $\theta_{\infty}$  表示空调房间新的稳态温度； $\theta_0$  表示空调房间的初始温度，所以，这种情况下，K 的单位是  $^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$ 。

处于不同通道的放大系数 K，对控制质量的影响是不一

样的。对于控制通道而言，如果 K 值越大，即使控制器输出的控制量 u 变化不大，对被控量 y 的影响也很大，因此系统控制越灵敏，但是系统越不易稳定；K 值越小，被控量 y 变化就越迟缓，不过，系统也就越稳定。对于干扰通道而言，如果 K 小，即使干扰量 f 幅度很大，也不会对被控量 y 产生很大的影响；如果 K 很大，则当干扰量 f 幅度较大又频繁出现时，系统就不易稳定，除非设法排除干扰或者采取较为复杂的控制系统，否则，建筑环境控制过程质量会受影响。

##### (2) 时间常数（反应时间）T

时间常数 T 是表示被控对象惯性大小的物理量，反映了被控量 y 改变的快慢。例如，时间常数 T 越大，被调室温温度 y 的变化就越慢。

##### (3) 滞后时间 $\tau$

滞后时间  $\tau$  是描述被控对象在受到输入量的作用后并不立即发生变化，而是经过一段时间才发生变化的动态参数。系统受到干扰后，被控量滞后一段时间  $\tau$  才开始变化，控制器无法及时发现被控量的变化情况， $\tau$  对被控过程产生了不利影响， $\tau$  降低了被控系统的稳定性，增加了被控量的偏差，延长了被控时间， $\tau$  是消极因素，要尽量减少，例如室内温度传感器要选择正确的安装位置，减少信号传输的延迟。

##### (4) 对象负荷

对象负荷指单位时间流入和流出对象的能量。流入和流出相等时，系统运行处于稳定状态。外部干扰 f 将引起对象负荷的变化，破坏了能量平衡状态，引起被控量 y 的变化，于是被控过程便开始改变对象的输入或输出能量，使能量达到新的平衡，使被控量 y 回到给定量 r。

#### 3.1.2 被控量 y

也称被调量。被控对象中引起实现自动控制的参数，例如空调房间内的温度、湿度、静压等物理量。

#### 3.1.3 给定量 r

也称设定值。通过控制系统的作用，使被控量达到要求的数值。r 也可理解为理想量。

#### 3.1.4 反馈量 $y_m$

把输出的被控量通过传感器转换的、与输出成正比例的或某种函数关系的、量纲与给定值相同的、反送到控制器比较元件中的信号。

反馈控制系统有正反馈和负反馈，正反馈加剧被控对象中流入量与流出量的不平衡，导致系统不稳定；负反馈是减少对象中流入量与流出量的不平衡，达到自动控制的目的。

#### 3.1.5 偏差量 e

反馈量与给定量之差，即  $e = r - y_m$ 。在自动控制系统中规定偏差量 e 为给定量 r 减去反馈量  $y_m$ 。它是控制器的输入信号，也是负反馈控制系统中用来进行控制的信号。

#### 3.1.6 余差

当过渡过程终了时，被控量所达到的新的稳态值与给定量的偏差，称为余差（又称静态偏差、稳态误差），即最后残余的偏差。

#### 3.1.7 控制器

也称调节器。在控制系统中，将被控量 y 实际测量的检测信号  $y_m$  与给定量信号 r 进行比较，得出偏差量 e，进行运算，按照预定的规律发出控制量 u 去控制执行器动作的设备。控制器一般具有给定、比较、运算和输出控制功能。

#### 3.1.8 控制量 u

控制器输出的控制信号，用来克服干扰对被控量的影

响,控制执行器的动作,实现控制作用。

### 3.1.9 执行器

在控制系统中,将来自控制器的控制信号  $u$  转变为操作量  $q$  的部分,也称操作部分。它由执行机构和调节机构两部分组成。如电动调节阀,它由电动执行机构和调节阀组成,接受来自控制器的输出信号而产生动作。

### 3.1.10 操作量 $q$

也称调节量。它是为了被控量在受到干扰后,恢复到新的稳定值而需要通过调节机构向被控对象中输出的能量。

### 3.1.11 干扰 $f$

也称扰动。引起被控量  $y$  偏离给定量  $r$  的一切因素。

### 3.1.12 传感器

用于现场信号采集。将被测量按一定规律转换成便于处理和传输的另一种物理量的元件。其转换引起被测量以单值函数关系、稳定而准确地变成另外一种物理量,以便提供仪表后续环节变换、比较运算与显示记录。

### 3.1.13 变送器

将传感器的物理量转变为标准通信信号,如:电气信号  $4\sim 20\text{mA}/0\sim 10\text{VDC}$ ,气动信号  $0.02\sim 0.1\text{MPa}$ 。可以把变送器归类于传感器,因为传感器和变送器都是现场信号采集设备,通常组合在一起使用。

## 3.2 控制系统分类

### 3.2.1 按照被控量 $y$ 的物理特性分

- 1) 温度控制系统。如空调室内温度控制系统、热源换热器水温控制系统。
- 2) 湿度控制系统。如空调室内湿度控制系统。
- 3) 二氧化碳浓度控制系统。如空调回风二氧化碳浓度控制系统。
- 4) 压力控制系统。如冷冻水供回水压差控制系统、变风量空调机送风静压控制系统。
- 5) 流量控制系统。如变风量空调机总风量控制系统。
- 6) 液位控制系统。如空调水膨胀水箱水位控制系统。

### 3.2.2 按照被控量 $y$ 的时间特性分

- 1) 连续量控制系统。被控量连续变化,模拟量反馈控制。
- 2) 断续量控制系统。被控量不连续变化,数字量顺序控制。

### 3.2.3 按照与给定量 $r$ 的控制关系分

- 1) 定值控制系统。保持控制系统给定量不变,如空调室温控制。
- 2) 顺序控制系统。按照时间表程序或逻辑关系连锁程序控制设备起停,如冷水机组起停控制。
- 3) 自动跟踪控制系统。控制系统给定量不断变化,系统输出的控制量也及时不断变化,如空调变风量总风量控制。

### 3.2.4 按照控制量 $u$ 对操作量 $q$ 的影响分

- 1) 闭环控制。主要指负反馈控制,负反馈控制系统的操作量  $q$  受控制量  $u$  的影响,操作量  $q$  不是独立的变量,依赖于输出量  $y$ ,当  $u$  增大使操作量  $q$  增大,进而使反馈量  $y_m$  增大时,反馈量  $y_m$  将使控制量  $u$  减小,这又将使  $q$  减小,这种负反馈使系统工作稳定。

- 2) 开环控制。操作量  $q$  不受控制量  $u$  的影响,反馈量  $y_m$  不影响  $u$ ,即不影响操作量  $q$ 。

### 3.2.5 按照系统的复杂性分

- 1) 简单控制系统。只有一个传感器/变送器、一个控

制回路、一个执行器,只对一个被控量进行控制的系统。这是使用最多的建筑设备监控系统,如空调室温控制系统。

- 2) 复杂控制系统。包括串级、前馈、分程等控制的控制系统,如四管制空调机组调节阀控制系统。

### 3.2.6 按照被控对象的工艺特性分

- 1) 过程控制系统。以模拟量连续控制为主,包括石油、化工、冶金、建筑环境等以通过控制调节阀为主进行温度、压力、流量、液位、成分等模拟量为被控量的自动控制系统,例如建筑设备监控系统的空调恒温控制系统。

- 2) 制造工业系统。以数字量顺序控制为主,包括机械制造、汽车制造、飞机制造、电子制造等程序控制、位置控制、计数控制、步进控制、条件控制等数字量(开关量)为被控量的自动控制系统,例如建筑设备监控系统的制造冷冻水的冷水机组起停控制系统。

### 3.2.7 按照操作过程分

- 1) 定量控制系统。系统控制与给定量有关。
- 2) 定性控制系统。系统控制与被控量逻辑关系有关。

### 3.2.8 按照控制效果分

- 1) 柔性控制系统。1960年Theo Willamson首次提出运用系统工程学、成组技术、计算机技术,使系统达到整体优化的自动化系统,包括动态优化(生产过程在线最优化)和静态优化(生产管理最优化),主要指DCS分散式控制系统Distributed Control System,DCS是以DDC直接数字控制器为基础的控制系统,例如建筑设备监控系统的环境控制系统。

- 2) 刚性控制系统。指生产装配线等“刚性”操作的控制系统,主要指以PLC可编程序逻辑控制器为基础的控制系统,建筑物中的电梯选层,出入控制系统也可列为刚性控制系统。

### 3.2.9 按照控制系统结构分

- 1) 仪表式。ICS (Instrumentation Control System) 仪表控制(20世纪60年代)。
- 2) 集中式。CCS (Central Computer System) 中央计算机控制(20世纪70年代)。
- 3) 分散式。DCS (Distributed Control System) 分散式控制(20世纪80年代)。
- 4) 分布式。FCS (Fieldbus Control System) 现场总线控制(20世纪90年代)。

### 3.2.10 按照计算机控制系统应用方式分

- 1) 数据采集和数据处理系统DAP (Data Acquisition and Processing)。完成巡回检测、数据存储、数据处理(计算、统计、整理)、数据分析、数据越限报警。

- 2) 直接数字控制系统DDC (Direct Digital Control)。计算机代替模拟调节器进行控制。

- 3) 监督控制系统SCC (Supervisory Computer Control)。也称设定值控制系统SPC (Set Point Control),按照被控过程的数学模型,计算机根据输入信息和给定量,自动改变模拟调节器或DDC直接数字控制器的设定值进行控制,分为SCC+模拟调节器和SCC+DDC两种。

- 4) 集散式控制系统TDCS (Total Distributed Control System)。系统包括管理计算机、监控计算机和基本数字控制器,硬件模块化、软件模块化、组态控制、开放性,实现控制分散化和监控集中化。

- 5) 分布式控制系统FCS (Fieldbus Control System)。全面应用现场总线技术,输入输出模块形成现场总线网络。

## 4 数字控制器

### 4.1 数字控制器的控制过程

数字控制器本质上是用一台计算机代替模拟量控制器或继电器—接触器系统, 这台计算机配备适当的输入输出通道形成数字控制器, 实现对空调系统等建筑环境控制过程的闭环控制、开环控制、定时控制、顺序控制、逻辑控制、位置控制和计数控制等。

由于建筑设备监控系统中都使用数字控制器, 所以以下均简称控制器。

### 4.2 控制网络

数字控制器通过现场总线连接成为控制系统, 形成控制网络。每条现场总线可以视为一个控制网络。如果这种控制器可以自由编程, 称为通用控制器, 这个控制网络就是控制层网络。如果这种控制器不可以自由编程, 称为微控制器或专用控制器, 由微控制器组成的控制网络就是现场层网络。

### 4.3 控制器硬件

控制器是专为建筑环境控制提供的设备, 采用了典型的计算机结构, 但是比一般计算机具有较好的与建筑环境控制过程相连接的输入输出接口和更直接适用于建筑环境控制要求的应用软件。

控制器硬件主要包括中央处理单元 CPU、存储器、输入输出接口、通信接口、人机接口以及电源等, 输入输出接口既可以与 CPU 等单元组成一体化的结构, 也可以是独立的模块化结构, 输入输出接口直接分布在现场总线上与 CPU 模块进行通信 (见图 9.5-11)。

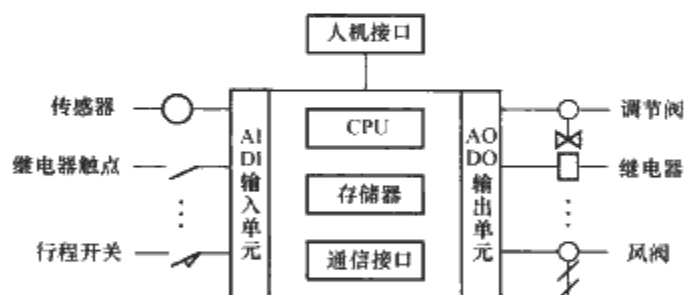


图 9.5-11 数字控制器结构

#### (1) 中央处理单元 CPU (Central Process Unit)

CPU 是控制器的核心, CPU 根据各种程序赋予的功能, 指挥控制器全部工作。主要任务包括从存储器读取指令、解码, 执行指令, 处理中断, 通过计算机总线把信息输入输出到其他资源。

CPU 包括控制单元、算术/逻辑单元和暂存器, 这些电路都集成在一个芯片上。控制单元从计算机系统的内存提取指令、解释指令并通知相应部件执行指令。算术/逻辑单元处理由控制单元控制下从内存中得到的数据进行算术运算和逻辑运算。

#### (2) 存储器

用于存储系统程序、数据和用户应用程序、数据。系统程序存储器存放系统管理、用户指令解释及标准程序模块、系统调用等程序, 进行实时操作、提供任务管理优先级、控制时间程序、监视和管理与管理层的通信、扫描输入和输出、嵌入故障诊断软件。用户存储器用来存储用户编制的程序或用户数据。控制层的通用控制器, 用户可以自由编程, 这些用户应用程序就是存储在用户存储器中。用户程序存储

器常用只读存储器 EPROM 或 Flash 存储器构成, 存储用户数据的数据存储器常用随机存储器 RAM 构成, 为防止掉电时数据丢失, 需要采用诸如“金电容存储器”等产品达到 72 小时掉电保护。也可使用后备电池作保护, 但这种方法对环保不利。存储器有以下四种:

1) 随机访问存储器 RAM (Random Access Memory), 可由 CPU 或其他硬件设备读或写的半导体存储器。存储位置可以按照任何顺序访问, 是既可以读也可以写的可变存储器。

2) 电可擦写可编程只读存储器 EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read-only Memory), 可用电信号擦除的一种 EPROM, 用于掉电情况下对数据的长期稳定存储, 同时允许重新编程。

3) 可擦写可编程只读存储器 EPROM (Erasable Programmable Read-only Memory), 可被编程的有记忆功能的存储器。

4) 闪存 (Flash Memory), 一种非易失性内存, 它在功能上与 EEPROM 相似, 但是它必须按块擦除, 而 EEPROM 可以一次只擦除一个字节。闪存通常认为是硬盘的补充或替代品, 由于容量大、成本低, 已经成为控制器应用程序的主要存储器。

#### (3) 数字量输入单元 DI (Digital Input)

与数字量输入端连接的包括各种开关、继电器触点等通/断信号。通常控制器要求的开关、触点信号是无电压开关、触点, 由控制器内部提供直流电源形成直流输入信号。也有交流输入信号的 DI 输入单元。

数字量输入端均有形成输入信号延迟的抗干扰滤波电路和光电隔离电路 (见图 9.5-12)。

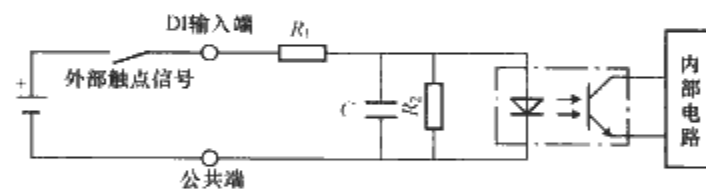


图 9.5-12 数字量输入端光电隔离

#### (4) 数字量输出单元 DO (Digital Output)

与数字量输出单元用于驱动外部负载, 包括继电器、接触器、电动执行器等。主要有两类数字量输出单元, 一类是继电器触点输出, 一类是 Triac 三端双向晶闸管开关输出。这些输出应配置外部过载保护。

#### (5) 模拟量输入单元 AI (Analogue Input)

与模拟量输入单元连接的包括各种传感器的连续变化信号, 有温度、湿度、压力、流量、液位、成分分析等物理量。除了直接连接的热电阻 RTD 模拟量输入以外, 其他物理量通常都经过变送器转换为模拟电压 0~10V DC 或模拟电流 4~20mA DC 标准信号作为模拟量输入。

模拟量输入在控制器内均由 A/D 转换器转换成计算机可以识别的数字量。转换时间为毫秒级。A/D 转换器转换的数字量位数越多, 分辨率就越高, 分辨率  $q$  是指参考值  $M$  (模拟量输入满量程值) 与  $2^n$  的比值。

$$q = M/2^n \quad (9.5-1)$$

式中,  $n$  为位数 (bit)。

$q$  值的大小与 A/D 转换器精度有关 (包括 D/A 转换器), A/D 或 D/A 转换器的变换精度分绝对精度与相对精度两种, 绝对精度指给定的数字量 A/D 转换器的误差, 其大小用实际模拟量输入值与理论值之差表示, 而相对精度则



是指绝对精度与输入模拟量全量程之比,通常用百分数表示,相对精度也称转换精度。

例:建筑设备监控系统的控制器,AI通常采用低分辨率8bit,如果参考值 $M$ (电压)为10V DC(满量程输入信号),此时分辨率 $q$ 为39mV,转换精度为0.39%

$$q = 10\text{V}/2^n = 10\text{V}/2^8 = 10\text{V}/256 \approx 39\text{mV}$$

常用二进制和十进制数据之间的关系,可以参考表9.5-1数据类型表。

表 9.5-1 数据类型

名称	二进制 bit 位数	十进制数值范围
bit	1	0,1
Byte	8	0~255
Word	16	0~65 535
LONG	32	0~4 294 976 295

#### (6) 模拟量输出单元 AO (Analogue Output)

与模拟量输出单元连接的包括各种执行器用以驱动调节阀、风阀等设备,完成环境控制过程。模拟量输出单元是控制器 CPU 输出的数字信号在控制器内经过 D/A 变换器转为模拟电压 0~10V DC 或电流 4~20mA DC 标准信号输出,模拟输出正比于数字量输出的大小。D/A 变换器由于直接和执行器连接,所以都加有光电隔离。AO 输出为电压信号时候的转换时间为毫秒级。D/A 变换器转换的数字量位数越多,分辨率 $q$ 就越高,分辨率 $q$ 是指参考值 $M$ (模拟量输出满量程值)与 $2^n$ 的比值。

分辨率 $q$ 越高,其输出波形的阶梯越小,越接近连续变化的模拟量。

建筑设备监控系统的控制器,AO通常采用中分辨率10bit,如果参考值 $M$ (电压)为10V,此时分辨率 $q$ 为10mV,转换精度为0.1%

$$q = 10\text{V}/2^n = 10\text{V}/2^{10} = 10\text{V}/1024 \approx 10\text{mV}$$

如果 AO 采用高分辨率 12bit,此时分辨率 $q$ 为2.44mV,转换精度为0.024%

$$q = 10\text{V}/2^n = 10\text{V}/2^{12} = 10\text{V}/4096 \approx 2.44\text{mV}$$

#### (7) 控制器通信接口

控制器通信接口除提供 RS232 接口在现场与 PC 计算机、笔记本电脑、操作器、编程器连接以外,还有与各种现场总线连接的接口以构成控制层网络,应该选用国际标准的现场总线,例如 BACnet、LonWorks。

有的控制器还集成了与管理层网络连接的作为网关使用的以太网连接的接口,通常是水晶头 RJ45 接口,这个端口与以太网交换机相连接,链接管理层网络以太网。

### 4.4 控制器软件

#### 4.4.1 软件种类

##### (1) 系统软件

包括操作系统、系统管理程序、用户指令解释程序、系统专用标准程序、诊断程序(测试、查错、修复)、网络通信系统,都永久保存在控制器内,无需用户调整。

##### (2) 用户应用程序软件

用户为了进行控制,使用工厂提供的编程语言或工程软件工具自行编制的应用程序,按照控制器的种类,可以分为 DDC 和 PLC 两类应用程序软件,DDC 应用软件侧重于闭环控制功能,PLC 应用软件侧重于输入输出操作指令。

##### (3) DDC 的应用程序

包括过程监视程序(巡回检测、数据处理、上下限检查和报警)、闭环控制程序(比例积分、串级、前馈、分程、其他)、开环控制程序、过程分析程序、判断程序、故障处理程序、编程工具服务程序、公共应用程序。

#### (4) PLC 的应用程序

1994 年国际电工协会制定了关于 PLC 的国际标准 IEC 1131,1998 年以后称为 IEC 61131,该标准包括 8 个部分:①综述;②硬件;③可编程语言;④用户导则;⑤通信;⑥现场总线通信;⑦模糊控制编程;⑧编程语言的实施方针。其中第 3 部分 IEC 61131-3“可编程语言”规定了适用于 PLC 的五种编程语言,包括梯形图(Ladder Diagram)、指令表(Instruction List)、顺序功能图(Sequential Function Chart)、功能块图(Function Block Diagram)和结构文本(Structure Text)。编程语言是 PLC 的应用软件工具,以 PLC 输入、输出和元件间的逻辑关系和数量关系表达系统的控制要求,作为用户应用程序存储在存储器中。

#### 4.4.2 软件要求

- 1) 应独立于中央计算机自己完成全部规定的控制应用。
- 2) 系统软件应包括完整的操作系统、诊断软件、通信处理。
- 3) 应用软件包括监控点处理程序,以规定的周期连续更新输入输出值和状态,A/D 和 D/A 转换,传感器非线性校准,输入输出量的工程单位、状态标识;通用控制程序,报警高限和低限、报警锁定,数字量输入状态时间累加、以 1min 分辨率累计设备运行时间。
- 4) 提供软件工具进行编程。

### 4.5 控制器种类

#### 4.5.1 直接数字控制器 (DDC)

DDC 是直接数字控制器(Direct Digital Controller)的英文缩写,是一种数字控制器。DDC 采用数字计算机代替模拟控制器直接控制执行器,对被控量状态参数进行分时测量,根据测量结果与给定量的偏差量,按照预先制定的控制算法进行运算,控制量输出直接作用于执行器,使被控量保持在给定量上。DDC 控制面向建筑环境控制过程各种被控量,包括温度、压力、流量、液位、气体成分等工艺变量。因为计算机运算速度快,所以可以分时处理多个控制回路,一台 DDC 可以控制多个监控点;因为计算机功能强,所以 DDC 能够实现 PID、串级、前馈等各种复杂控制。DDC 由输入输出接口、CPU、存储器、通信接口等环节组成。DDC 主要用于工艺过程控制,以负反馈闭环控制为主,根据产生的偏差量数据进行控制以保持给定量恒定。通常建筑环境控制的被控量变化过程缓慢、呈现惯性、产生时间滞后,例如室内温度控制系统。DDC 追求被控系统稳定和被控量的控制精度(见图 9.5-13)。



图 9.5-13 DDC 直接数字控制器负反馈控制

DDC 按预定的周期和程序进行信号的测量、运算和处理,产生相应控制输出,并以采样周期分时方式完成多回路控制。



一台计算机代替多台模拟调节器的采样控制,按照预先编好的程序执行能够反映控制规律的控制算法和把计算结果以一定形式送达执行器是 DDC 的特点。

建筑环境过程控制需要控制大量的模拟量(温度、压力、流量、液位、气体成分等),因此建筑设备监控系统主要使用 DDC 直接数字控制器。

#### (1) 信号采集

DDC 的信号输入采样是按照一定的时间间隔进行,模拟信号采集后,经 A/D 变换器转换成为数字信号,进入指定的内存缓冲区,数字量信号采集后,直接进入指定的内存缓冲区,这些输入信号由 CPU 按照程序规定进行处理。输入信号采样周期经验数据见表 9.5-2。

表 9.5-2 输入信号采样周期

被 控 量	采样周期 (s)
空气温度	10~20
空气湿度	10~20
空气流量及风道压力	5~10
二氧化碳浓度	180~300
一氧化碳浓度	120~180
水流量及水管压力	2~5
水温度	10~20
液 位	1~5

建筑设备监控系统的风阀挡板通常为 90°角行程,风阀执行器转动全行程常常需要 180s;阀门阀杆行程为 40mm 时,阀门执行器走完全行程常常需要 210s。所以,虽然越小的采样周期越能接近连续控制效果,但是,由于上述执行器动作的缓慢,再加上被控对象(例如空间空气温度)变化更加缓慢,所以控制器配置过小的采样周期并无实际意义。

#### (2) 数字滤波

在程序进入数据处理和控制算法以前,加入抗干扰数字滤波程序,包括限幅滤波、限速滤波等,是为了除去数据输入时曾经受到过的干扰。

#### (3) 数据处理

读入数据、有效性检查、线性化处理、工程量化(工程单位及换算)、计算处理(算术运算、逻辑运算)、上下限检查及报警处理。

#### (4) 自动控制

完成 PID 控制、串级控制、前馈控制、分程控制、顺序控制、跟踪控制等。

### 4.5.2 可编程序控制器(PLC)

PLC 是可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller)的英文缩写,也可称为可编程序控制器,PLC 是一种数字控制器,专为在工业环境中应用而设计,采用可编程序的存储器存储操作指令,并主要通过数字量的输入输出控制机械生产过程。PLC 采用数字计算机代替继电器组成的顺序控制器按照预先规定的条件或顺序工作。PLC 面向操作人员,被称为“蓝领计算机”。PLC 能够完成各种开关量的逻辑控制、定时控制、计数控制、位置控制、步进控制等控制功能。PLC 由输入输出接口、CPU、存储器、通信接口、编程器等环节组成。PLC 根据继电器或计时器触点开关状态瞬间变化,进行被控系统的工序及时步进或转移。系统以顺序控制为主,追求受控系统逻辑关系正确和设备动作时间清晰。由于 PLC 以处理开关量为主,所以在建筑设备控制系统使用不多。图 9.5-14 给出 IEC 61131 表示

的 PLC 基本功能结构框图。

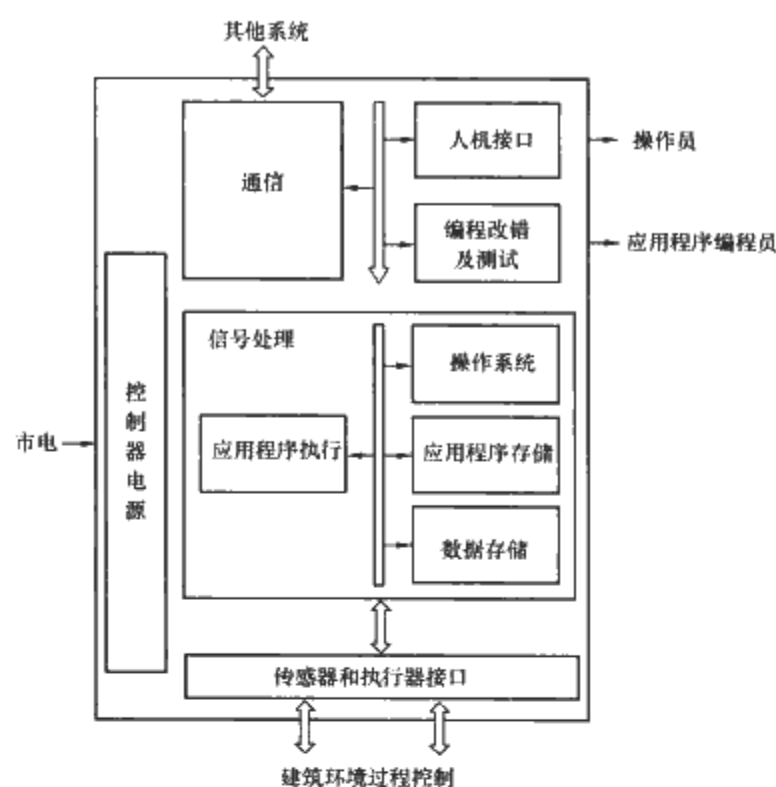


图 9.5-14 IEC 61131 PLC 基本结构图

PLC 的顺序控制包括时间顺序控制系统:建筑设备起停控制与时间有关;逻辑顺序控制系统:建筑设备起停控制与逻辑顺序关系有关,上一个动作没有结束,下一个动作不能开始;条件顺序控制系统:建筑设备起停控制与条件是否满足有关,条件满足执行相应操作,条件不满足执行另外操作。

PLC 的工作方式采用循环工作方式,是一个不断循环的顺序扫描过程,每一次扫描的时间称为工作周期(扫描周期)。

每一个工作周期开始,控制器首先以扫描方式顺序读入所有输入端的信号状态(1 或 0),并逐一存入输入状态暂存器,当输入采样阶段结束后,转入程序执行阶段,组成程序的每条指令编有步序号,按步序号依次存入存储器,控制器通常根据梯形图扫描原则(先左后右、先上后下)顺序执行由输入状态暂存器和输出状态暂存器的 0 或 1 状态所决定的这些指令,进行逻辑运算,运算结果存入输出状态暂存器,在输出刷新阶段,转存到输出锁存电路用来驱动继电器线圈,形成 PLC 输出端的实际输出。即 PLC 有五个扫描阶段:内部处理扫描阶段(PLC 复位定时监视器 WDT,检查输入输出总线,检查程序存储器);与编程器通信扫描阶段(执行编程器等外部设备输入的指令);数据采样输入服务扫描阶段;用户程序执行扫描阶段;数据刷新输出服务扫描阶段。

实际输入信号被滤波、光电隔离后,经扫描存入输入状态暂存器,因此输入状态暂存区的数据取决于输入服务阶段各个实际输入点的状态,在用户程序执行阶段,输入状态暂存区的数据不再随实际输入的变化而变化,但是,输出状态暂存区的内容则随程序执行结果不同而随时改变,不过此时输出锁存器的内容保持不变,直到输出服务阶段,再把用户程序执行阶段得到的储存在输出状态暂存区的最终结果一起传送到输出状态锁存器锁定,决定输出端子的实际状态,从而完成一个扫描周期的控制工作循环,具体扫描工作过程如下(见图 9.5-15);

#### (1) 内部处理扫描阶段

内部处理阶段是 PLC 自监视过程,主要是检查及复位

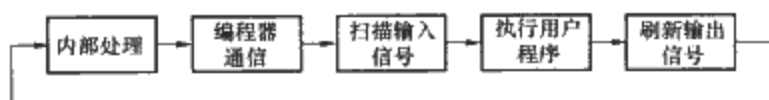


图 9.5-15 PLC 五个扫描阶段

监视定时器 WDT (Watchdog Timer), WDT 是一个硬件时钟, 如果在复位前扫描时间已经超过 WDT 的设定值, CPU 将停止运行、输入输出复位、发出报警。WDT 设定时间一般为毫秒级 (用户可修改), 大于扫描周期 10 倍以上。

#### (2) 与编程器通信扫描阶段

用户应用程序通过编程器写入 PLC 时, CPU 将总线控制权交给编程器, CPU 处于被动状态。当编程器完成处理工作, CPU 再恢复主动状态。在这一个扫描阶段, 用户可以通过编程器修改内存程序, 起动或停止 CPU、读 CPU 状态、封锁或开放输入输出、对逻辑变量和数字变量进行读写。

#### (3) 输入服务扫描阶段

在输入服务时 (输入采样及输入刷新), CPU 把实际输入端的状态读入到输入状态暂存区。

#### (4) 执行用户程序扫描阶段

PLC 从输入状态暂存区将有关元件的通/断状态读出, 对应于用户程序存储器所存储的指令, 从第一条指令开始顺序执行, 每一步的执行结果都存入到输出状态暂存区。

#### (5) 输出服务扫描阶段

在输出服务时 (输出刷新与锁存), CPU 把输出状态暂存区的值传送到输出状态锁存器。

### 4.5.3 DDC 与 PLC 比较

#### (1) 被控量

DDC 以模拟量为主, PLC 以数字量为主。

#### (2) 控制方法

DDC 是采样控制, PLC 是扫描控制。

#### (3) 控制原理

DDC 利用计算机在控制功能的级别上把过程控制抽象成为内部仪表的模块化功能程序, 包括回路切换、给定量设置与修改、被控量采集、控制算法、输出量控制等, 是仪表控制在计算机内的一个“映像”; PLC 利用计算机在控制指令的级别上把制造控制抽象成为内部控制语言, 包括梯形图程序编程语言、指令程序编程语言、逻辑功能图程序编程语言等, 是继电器—接触器控制在计算机内的一个“映像”。

### 4.5.4 混合控制器 (HC)

HC 是混合控制器 Hybrid Controller 的英文缩写。

由于计算机技术和网络技术不断发展, 用于处理模拟量为主的 DDC 和用于处理开关量为主的 PLC 两者功能不断相互渗透是技术发展的必然。

一方面, DDC 加强了开关量逻辑控制功能、联锁控制功能、顺序控制功能和梯形图语言编程功能 (也能采用国际标准所规定的 PLC 编程语言规范进行编程), 同时, 在开关量控制速度方面, DDC 已经有长足进展, 像开关量输入响应速度已达到毫秒级。

另一方面, PLC 则增加 DDC 的闭环控制功能、记录仪功能、显示功能和网络通信功能。

HC 混合控制器就是吸纳两者优点的一种产品, 所以称为混合控制器, HC 混合控制器是 DDC+PLC 的新型控制器, 代表了当前控制器发展方向。

### 4.6 控制器控制算法 (控制策略)

控制算法用于连续变化的过程控制, 是控制器根据控制

规律进行控制的方法, 控制规律是控制器输出与偏差信号之间的函数关系, 因此, 控制规律决定了控制器的特性。过程控制规律主要包括比例控制 P、积分控制 I、微分控制 D 等。过程控制数字控制器的控制算法都是计算机基于 PID 基本算式  $u = K_c \left[ e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{de}{dt} \right] + u_0$ , 采用很小采样时间  $T$ , 通过离散化把该公式化为差分方程而发展起来的。

#### (1) 双位式控制 On/Off

被调量在设定值的上下限允许偏差间作周期性波动, 执行器的稳定状态只能是两个位置 (全开或全关) 之一, 调节阀相应处于全开或全关。

#### (2) 比例控制 P

一般用字母 P 表示, Proportional, 表示控制量  $u$  与偏差量  $e$  成比例。当被控量与给定值产生偏差时, 控制器按照偏差大小和方向, 发出与偏差成正比的信号, 使不同的偏差值对应有不同的执行器位置, 被控对象实现输出能量等于输入能量, 使被控量趋于稳定, 达到系统平衡状态。当偏差值为零时, 控制器输出为零。比例控制的调节速度快, 稳定性好, 不易产生过调现象, 但是留有残余偏差, 即被控量不能回到原来的给定值上。被控量可以接近给定值, 但不能达到, 比例控制适用于允许存在残余偏差、惯性较大的系统, 例如空调系统的房间温度控制

$$u = \Delta u + u_0 \quad (9.5-2)$$

式中,  $u$  为控制器输出的实际值,  $u_0$  为偏差  $e$  为零时控制器输出的初值, 为了能在  $e=0$  的条件下建立稳态,  $u_0$  应取合适的数值, 可以作必要的调整。

$$\Delta u = K_c e \quad (9.5-3)$$

式中,  $\Delta u$  为控制器输出变化量 ( $\Delta u = u - u_0$ ),  $K_c$  为控制器放大倍数,  $e$  为输入偏差变化量 (由于  $e$  的初值是零, 因此  $e$  既是变化量, 又是实际值)。

定义  $\delta$  为比例带

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{e/(e_{\max} - e_{\min})}{\Delta u/(u_{\max} - u_{\min})} \times 100\% \\ &= \frac{e}{\Delta u} \frac{u_{\max} - u_{\min}}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\% \\ &= \frac{1}{K_c} K \times 100\% \end{aligned} \quad (9.5-4)$$

式中,  $u_{\max} - u_{\min}$  为控制量输出变化最大值;  $e_{\max} - e_{\min}$  为偏差量输入变化最大值;  $K = (u_{\max} - u_{\min}) / (e_{\max} - e_{\min})$ , 对每个控制器来说,  $K$  是一个常数。

所以, 比例带  $\delta$  与控制器放大倍数  $K_c$  成反比;  $\delta$  表示偏差输入量  $e$  与控制量  $\Delta u$  间成比例的变化范围, 只有被控量变化形成的偏差量变化处于这个比例带范围, 执行器才与偏差输入量成比例, 超出这个范围, 控制器输出量  $u$  保持不变, 即操作量  $q$  保持不变, 调节阀将保持全关或全开。 $\delta$  是能使输出量作全范围变化的被控量改变的范围, 输入改变习惯上用该被控量变化范围为该被控量的测量仪表全量程的百分之几表示。也就是用该被控量占该检测仪表全量程的百分数来表示  $\delta$ 。例如被控量温度检测仪表量程为  $0 \sim 50^\circ\text{C}$ , 如果被控量温度  $y$  变化了  $4^\circ\text{C}$  (即假设被控量室温从  $16^\circ\text{C}$  变化到  $20^\circ\text{C}$ ),  $4^\circ\text{C}$  占其检测仪表全量程  $50^\circ\text{C}$  的  $8\%$ , 就使控制器信号输出的控制量  $u$  从  $100\%$  的  $10\text{Vdc}$  变化到  $0\%$  的  $0\text{Vdc}$ , 执行器操作量  $q$  将从  $100\%$  变化到  $0\%$ , 使空调热水调节阀相应从全开到全关, 该控制器的比例带  $\delta$  就是  $8\%$  (见图 9.5-16)。

$$\delta = \frac{4^{\circ}\text{C}}{10^{\circ}\text{C}} \times \frac{10\text{V} - 0\text{V}}{50^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}} \times 100\% = 8\%$$

不过,建筑设备监控系统的工程设计中,常用被控量变化范围 $4^{\circ}\text{C}$ 直接表示比例带,称为PB(Proportional Band),即被控量温度在 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 变化范围内,控制量 $u$ 将变化100%,执行器操作量 $q$ 将变化100%,空调热水调节阀将会从全开到全关,这种方法清楚直观,便于编制应用程序。

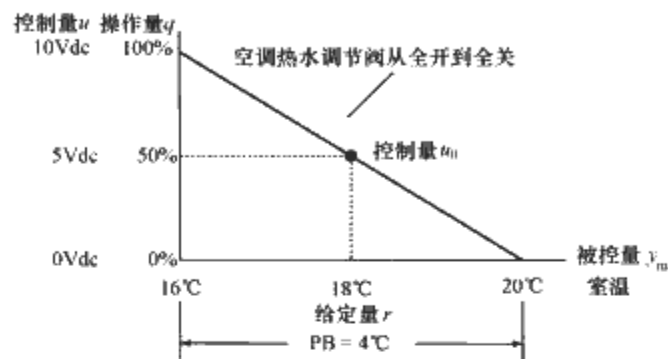


图 9.5-16 比例带 PB 与空调热水调节阀全行程关系图

### (3) 积分控制 I

一般用字母 I 表示, Integral, 在被控量残余偏差没有消除以前, 控制器输出的变化速度不等于零, 执行器的动作继续进行而不停止。残余偏差越大, 控制器输出的变化速度变化越快, 与偏差成比例。同时, 更主要还与偏差存在的时间有关系, 积分控制就是控制器的输出与偏差对时间的积分成正比。只要有偏差存在, 即使很小, 只要存在的时间足够长, 控制器的输出也会很大, 只有在偏差为零时, 控制器的输出才停止变化, 执行器才停止动作, 保持在相应位置上。所以积分控制的主要特点是无差调节, 控制过程结束后, 调节机构可以停留在新的负荷所要求的开度上

$$\frac{du}{dt} = K_i e \quad (9.5-5)$$

式中,  $\frac{du}{dt}$  为控制器输出的变化速度;  $K_i$  为比例常数 (积分速度);  $e$  为输入偏差变化量。

通常以  $K_i = 1/T_i$  表示积分作用强弱,  $T_i$  是积分时间, 积分时间  $T_i$  越短, 积分作用越强。

积分控制写成积分表达式

$$\Delta u = K_i \int e dt = \frac{1}{T_i} \int e dt \quad (9.5-6)$$

式中,  $\Delta u$  为控制器输出变化量;  $T_i$  为积分时间。

### (4) 微分控制 D

一般用字母 D 表示, Derivative, 控制器根据被控量的变化速度来控制执行器的动作从而改善调节效果, 即控制器的输出与被控量偏差对时间的微分成正比。这种控制使控制器按照偏差的变化速度控制, 从而具有某种程度的预见性, 在微分控制器首次使用时, 称其为 Pre-Action “预作用”。本节“微分”的英文没有用 “Differential” (微分), 而是采用 “Derivative”, 是函数随其变量的即时变化率的意思, 也可以理解成 “引出的” 意思, 或者是 “导数”: 函数相应其自变量的变化率的有限值。

$$\Delta u = T_d \frac{de}{dt} \quad (9.5-7)$$

式中,  $\Delta u$  为控制器输出变化量,  $T_d$  为微分时间,  $e$  输入偏差变化量,  $\frac{de}{dt}$  为输入偏差量变化速度, 因为微分控制对恒定不变的偏差不起作用, 所以微分控制不能单独使用, 必须与比例控制组合或与比例积分控制组合使用。

### (5) 比例积分控制 PI

一般用字母 PI 表示, 这种控制综合比例控制与积分控制的优点, 利用比例控制来快速抵消干扰的影响, 进行有差调节; 利用积分控制来消除最终的残余偏差。为了克服由积分控制降低了系统稳定性的影响, 比例控制的比例带  $\delta$  要适当加大。比例积分控制的数学表达式如下

$$\Delta u = K_c \left[ e + \frac{1}{T_i} \int e dt \right] \quad (9.5-8)$$

式中,  $\Delta u$  为控制器输出变化量,  $T_i$  为积分时间。

PI 控制也可以理解成是  $e=0$  时的  $u_0$  能自动调整为  $u_0'$  的控制:

$$\begin{aligned} u &= \Delta u + u_0' \\ u &= K_c \left[ e + \frac{1}{T_i} \int e dt \right] + u_0 \\ &= K_c e + \left[ \frac{K_c}{T_i} \int e dt + u_0 \right] \\ &= K_c e + u_0' \end{aligned} \quad (9.5-9)$$

### (6) 比例积分微分控制 PID

一般用字母 PID 表示, 这种控制综合三种控制的优点, PID 的控制精度好, 历史最久, 原理简单, 使用方便, 适应性强, 控制品质对被控对象特性变化不太敏感。PID 是过程控制的经典方法, 从 19 世纪诞生以来, PID 被誉为控制领域的 “常青树”。PID 的数学表达式如下

$$\Delta u = K_c \left[ e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{de}{dt} \right] \quad (9.5-10)$$

$$u = K_c \left[ e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{de}{dt} \right] + u_0 \quad (9.5-11)$$

18 世纪以来, 负反馈一直被用于连续过程控制, 1788 年瓦特曾用飞球调速器来控制其著名的蒸汽机的运转速度, 这是第一种具有比例控制能力的机械反馈装置; 这种控制原理至今仍然使用, 所以, PID 控制被誉为 “常青树”。1933 年, Taylor 公司推出比例控制的气动式调节器; 1935 年, Foxboro 公司推出 40 型气动式调节器, 是第一台比例积分式控制器; 1940 年, Taylor 公司推出 Fulscope 100, 是第一种装在一个单元中的全 PID 控制能力的气动式控制器; 1951 年, Swartwout 公司推出第一种基于真空管技术的电子控制器; 1959 年 Baily Meter 公司推出全固态电子控制器; 1964 年, Taylor 公司展示第一个单回路数字式控制器; 1975 年, Process System 公司推出 P-200 型控制器, 是第一种基于微控制器的 PID 控制器; 1976 年, Rachester Insrttument 推出 Media 控制器, 是第一种封装型数字式 PI 及 PID 控制器产品; 之后, 1980 年开始推出人工智能、自适应控制器、模糊控制器等, 各种控制器层出不穷。但是, PID 控制始终在控制领域占据最重要的地位。

### (7) 串级控制 (Cascade)

采用两个以上控制器互相串接, 一个控制器的输出量作为另一个控制器的给定量系统。在结构上形成了两个闭环, 所以也称双环控制。一个闭环在里面, 称为副环, 是一个随动反馈控制系统, 其设定值能随对象负荷变化而变化, 具有自适应能力, 在控制过程中起着 “粗调” 作用, 一个环在外面, 被称为主环或主回路, 用来完成 “细调” 任务, 主环控制器具有自己独立的给定量, 是一个定值控制系统, 以最终保证被控量满足工艺要求 (见图 9.5-17)。

与简单控制系统相比, 串级控制系统增加了一个检测元件、一个传感器/变送器和一个控制器, 但是能够快速克服进入副环的干扰, 改善了主控制器的对象特性, 能够更精确地控制操作量的能量流量, 控制更加灵活, 例如在建筑环境过程控制中的变风量控制得到广泛的应用 (见图 9.5-18)。

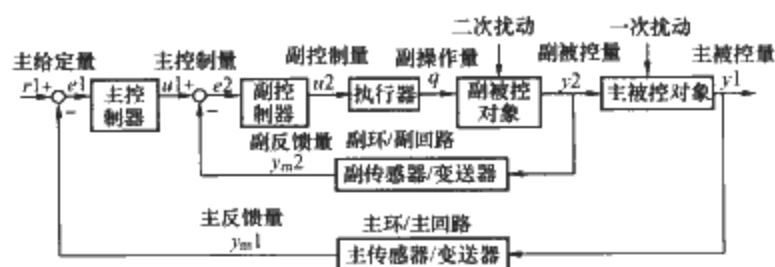


图 9.5-17 串级控制

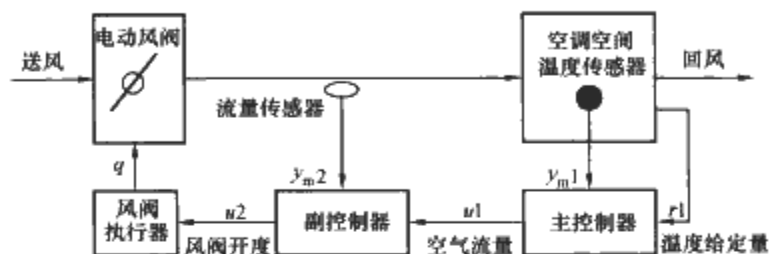


图 9.5-18 VAV 变风量箱串级控制

#### (8) 前馈控制

基于补偿原理，采用开环结构，前馈控制器在测出扰动量以后，按照过程的能量平衡条件计算出校正值，补偿扰动作用。如果补偿得当，对于某一特定的扰动，历史悠久的前馈控制系统可以得到很好的控制品质。前馈控制如果结合反馈控制，构成前馈-反馈控制系统，可在大而繁的扰动下，达到非常理想的控制效果。在建筑环境过程控制中的空调系统室外空气温度补偿控制就是前馈控制的一种应用。

#### (9) 分程控制

一个控制器输出的控制量同时送往两个或更多的执行器，而各执行器的工作范围不同，这种控制就是分程控制。在建筑环境过程控制中的空调系统分程控制的目的是为了解决一个被控温度检测器的输出能够通过一个控制器同时控制一台四管制空调机组的空调冷冻水盘管和空调热水盘管，例如当控制器输出 0~4Vdc 信号时（假设相应于室内温度 14~18℃），空调热水盘管工作，当输出信号为 6~10Vdc 信号时（假设相应于室内温度 22~26℃），空调冷冻水盘管工作。

#### (10) 优化控制

在建筑环境过程中的控制系统基本上都是简单控制系统。优化控制的目标函数如果是被控过程的某项动态品质指标，例如 PID 参数的最优整定，就是以寻求控制过程动态优化的优化控制。如果优化控制的目标函数是体现经济效益的某项指标，例如建筑节能，就是以寻求控制过程操作优化的优化控制，操作优化是为了适应建筑环境条件变化，例如春夏秋冬季节变化，需要及时作出运行变量值的相应调整。操作优化是一种稳态优化的优化控制。在冰蓄冷系统中的逐时逐日负荷预测与实时控制的结合，可以认为是控制过程的操作优化控制。

### 4.7 控制器逻辑算法

控制器逻辑算法用于断续量控制系统的 PLC 可编程逻辑控制器，根据逻辑代数进行运算。

#### (1) 逻辑运算

- 1) OR “或”运算： $y = A + B$ ，相当于触点并联。
- 2) AND “与”运算： $y = A \times B$ ，相当于触点串联。
- 3) NOT “非”运算： $y = \bar{A}$ ，相当于触点常开常闭转换。

#### (2) 交换律

$$A \times B = B \times A; A + B = B + A$$

#### (3) 结合律

$$(A \times B) \times C = A \times (B \times C)$$

$$(A + B) + C = A + (B + C)$$

#### (4) 分配律

$$A \times (B + C) = A \times B + A \times C$$

## 5 控制器产品

### 5.1 DDC 直接数字控制器

#### 5.1.1 整体式 DDC 控制器

监控点总数不大于 64 点的可自由编程的 DDC，一般是整体式控制器，其 CPU、存储器、输入输出回路、电源、人机接口等单元制造成为一个整体。

- 1) 应该采用不少于 16bit 的 CPU 产品。
- 2) 随机访问存储器 RAM 容量不小于 128KB，用于动态数据存储。
- 3) 可擦写可编程只读存储器 EPROM 容量不小于 64KB，用于 DDC 引导程序（启动 DDC）。
- 4) 闪存 Flash EPROM 容量不小于 1MB，用于固化软件和应用程序。
- 5) 提供 RAM 数据掉电保护。
- 6) 提供控制器系统软件。
- 7) 提供用户应用程序有三种来源，第一是存储在闪存 EPROM 中多种标准功能程序，用户应用程序是汇集而成，无需编制更多的应用程序；第二是对于标准的暖通空调 HVAC 技术应用，提供编程工具软件，用户可以按照需要自由编程；第三是利用图形化的设计示意图表、仪表图、控制策略、时间控制表、逻辑联锁表等，自动生成用户应用程序。
- 8) 固化程序下载。
- 9) 提供 RS232 接口。
- 10) 提供不止一种现场总线通信接口，以方便用户组成不同物理结构的控制层网络和现场层网络，包括 TCP/IP、BACnet、LonWorks、Modbus、Meter Bus。
- 11) 独立变压器供电，输入 220Vac、输出 24Vac。
- 12) 满足现场条件要求的不同防护等级要求，控制器安装有人机接口时，防护等级为 IP54，控制器安装在机柜内时，防护等级为 IP30（见表 9.5-3）。

表 9.5-3 DIN40050 防护标准 IP (International Protection)

第 1 位数字	功 能	第 2 位数字	功 能
0	无防护作用	0	无防护作用
1	防止厚度大于 50.0mm 固体进入	1	防凝结水滴落在外壳上不损坏设备
2	防止厚度大于 12.0mm 固体进入	2	防止与垂直方向小于等于 15°倾斜时落下水滴不会损坏设备
3	防止厚度大于 2.5mm 固体进入	3	防雨 防止与垂直方向小于等于 60°倾斜时落下水滴不会损坏设备
4	防止厚度大于 1.0mm 固体进入	4	防溅 防止从任何方向喷溅到设备上不会损坏设备
5	防止有害灰尘堆积	5	防溅 防止从任何方向喷嘴喷出的水不会损坏设备

续表

第1位 数字	功 能	第2位 数字	功 能
6	防止灰尘进入	6	防大浪水 大浪水不影响其正常工作
		7	防止水浸 水浸不影响其正常工作
		8	设备长期浸入水中

### 5.1.2 模块化 DDC 控制器

监控点数较多时,控制器应采用模块化结构,以使用户根据控制设备的实际需要,配置点数各不相同的控制器(DI、AI、DO、AO有不同的组合)。标准模块包括各种插件式模块,有电源模块、CPU模块、DI模块、DO模块、AI模块、AO模块、FO模块;这些模块的防护等级为IP30;每种模块均需提供防止误插的硬件保护结构;模块式控制器的特点是控制器有一个标准尺寸的机箱,容纳一定数量的模块,这些机箱再组合成为一个控制器,现场仪表都连接到这个控制器来,所以相对地说,系统接线工作量比较大。

#### (1) 电源模块

- 1) 提供工作状态指示灯。
- 2) 由220/24V AC的独立变压器供电或可以连接到UPS的24V AC供电。
- 3) 通过内部总线,给各种模块提供各种直流电压。

#### (2) CPU 模块

- 1) 提供工作状态指示灯。
- 2) 提供复位按钮。
- 3) 应该采用不少于16bit的CPU产品。
- 4) 随机访问存储器RAM容量不小于256KB,用于动态数据存储。
- 5) 可擦写可编程只读存储器EPROM容量不小于64KB,用于DDC引导程序(起动DDC)。
- 6) 闪存Flash EPROM容量不小于1MB,用于固化软件 and 应用程序。

7) 电可擦除可编程只读存储器EEPROM不小于64KB。  
8) 提供RAM数据掉电保护。  
9) 提供控制器系统软件。  
10) 提供用户应用程序有三种来源:第一是存储在闪存EPROM中多种标准功能程序,用户应用程序是汇集而成,无需编制更多的应用程序;第二是对于标准的暖通空调HVAC技术应用,提供编程工具软件,用户可以按照需要自由编程;第三是利用图形化的设计示意图表、仪表图、控制策略、时间控制表、逻辑连锁表等,自动生成用户应用程序。

#### 11) 固化程序下载。

#### 12) 提供RS232接口。

13) 提供不止一种现场总线通信接口,以方便用户组成不同物理结构的控制层网络和现场层网络,包括TCP/IP、BACnet、LonWorks、Modbus、Meter Bus。

#### (3) DI 数字量输入模块

- 1) 提供状态指示灯。
- 2) 数字量输入最大频率不低于15Hz,最小脉冲宽度不大于20ms,最小脉冲间隔不大于33ms。
- 3) 提供直流辅助电压源,供输入无电压接点信号使用。
- (4) AI 模拟量输入模块
- 1) 提供状态指示灯。
- 2) 模拟量输入的标准信号可包括:0~10VDC、4~

20mA、Pt100、Pt1000、Pt3000、NTC20K等。

#### 3) 分辨率不低于12bit。

#### (5) DO 数字量输出模块

- 1) 提供状态指示灯。
- 2) 继电器触点输出或Triac三端双向晶闸管开关元件。

#### (6) AO 模拟量输出模块

- 1) 提供状态指示灯。
- 2) 模拟量输出的标准信号至少应包括:0~10VDC、4~20mA。
- 3) 分辨率不低于8bit。

### 5.1.3 分布式 DDC 控制器 (第四代产品)

分布式控制器是模块化结构控制器和现场总线技术进一步结合的产品,所有模块均配置现场总线接口使它们成为现场总线网络的节点,直接进行数据通信,以使用户根据控制设备的实际安装位置,把节点尽可能配置在受控设备附近。标准模块包括CPU模块、DI模块、DO模块、AI模块、AO模块、混合模块;这些模块都有独立结构并且独立安装,它们的防护等级为IP30。分布式控制器的出现,使建筑设备监控系统控制进一步现场总线网络化,这种系统可以称为现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS),是DDC构成的集散控制系统(Distributed Control System, DCS)的升级换代产品,称之为第四代产品。四代包括仪表控制(20世纪60年代)、集中控制(20世纪70年代)、分散控制(20世纪80年代)和分布控制(20世纪90年代)。第一代仪表控制是指模拟控制器系统,采用电子模拟调节器进行控制,第二代集中控制是指中央计算机控制系统,整个系统只采用一台中央计算机作为控制中心,借助分散的数据采集盘(Data Gathering Panel, DGP)采集现场传感器的数据传送给中央计算机,再把中央计算机的输出指令经DGP传送给现场执行器完成建筑设备的控制,第三代分散控制是指用DDC直接数字控制器代替DGP构成DCS集散控制系统,中央站只是进行集中监视,现场设备由DDC完成,使系统可靠性提高很多,而第四代分布控制是指FCS现场总线控制系统,FCS是网络化控制系统,“控制接近现场”和能够结合互联网技术是第四代FCS现场总线控制系统的主要特点,第四代FCS系统是当前网络时代的产物,FCS进一步提高系统控制效果、分散系统危险、降低系统电缆和安装成本、扩展系统网络化能力,因此FCS是已经成为目前建筑设备监控系统的典型系统。

分布式控制器在中国最常用的现场总线技术是LonWorks和BACnet。

分布式控制器的模块种类与模块式控制器基本一致,只是每个模块配置了现场总线专用通信接口,与现场总线连接,通过现场总线与CPU模块通信,接受CPU控制。所有模块都是DIN导轨式结构,以便安装到被控设备的现场机电柜中。

#### 1) 控制器共享电源变压器。

##### ① 由220/24VAC的独立变压器供电。

② CPU模块和分布式输入输出模块连接到相同的一个变压器。

2) CPU模块,技术要求同模块式控制器,但增加一个或以上现场总线接口。

3) DI数字量输入模块,技术要求同模块式控制器,但增加一个现场总线接口。

4) AI模拟量输入模块,技术要求同模块式控制器,但增加一个现场总线接口。



5) DO 数字量输出模块, 技术要求同模块式控制器, 但增加一个现场总线接口。

6) AO 模拟量输出模块, 技术要求同模块式控制器, 但增加一个现场总线接口。

7) 复合式输入输出模块, 不同种类的输入输出组成复合模块, 但有一个现场总线接口。

## 5.2 PLC 可编程序控制器

建筑设备监控系统使用 PLC 不多。有时冷水站控制

(特别是冰蓄冷系统) 和公共交通工程领域 (例如轨道交通系统的环境控制系统) 使用 PLC。

## 5.3 HC 混合控制器

HC (Hybrid Controller) 混合控制器是 DDC 与 PLC 性能相结合的新产品, 也是 PLC 的发展方向。

HC 可以代替 PLC 使用在建筑设备监控系统中, 有的产品成本较低, 监控点数量比较适合建筑环境控制, HC 在控制模拟量监控点方面的性能优于 PLC。



## 第6章 建筑设备监控系统现场层

### 1 概述

建筑设备监控系统现场层是控制网络，包括网络接口、微控制器、分布式输入输出模块和传感器、执行器以及变频器等。现场层可以称为仪表层或设备层（见图 9.6-1）。

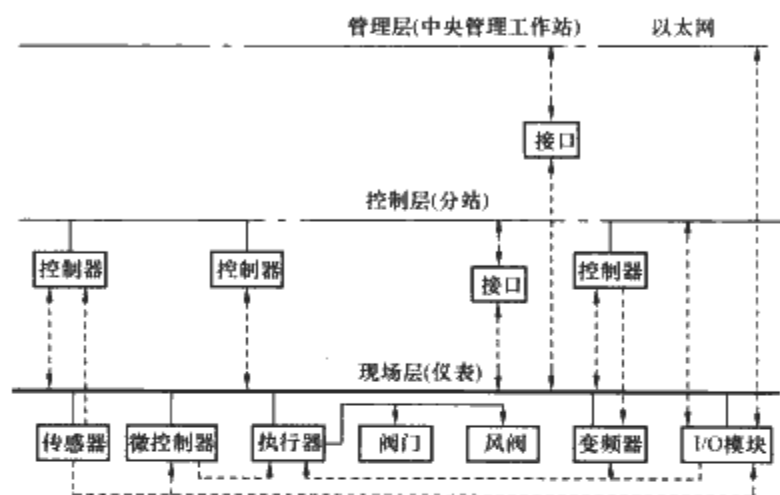


图 9.6-1 现场层设备

现场层的网络接口是指与管理层和控制层连接的两类接口，前者是把现场层向上连接到管理层上，后者是把现场层向上连接到控制层上，这两类网络接口已经分别在第4章《建筑设备监控系统信息网络层设备》和第5章《建筑设备监控系统控制网络层设备》加以介绍，本章从略。

#### (1) 微控制器

现场层的微控制器能够以用户容易理解的方式显示控制器数据，允许用户提供发送适当的命令去控制机电设备，自动执行专门的控制任务，产生设备报警和事件控制，生成综合报告，与其他微控制器共享数据等。

这些微控制器是指用户不能自由编程的控制器，微控制器是一种嵌入计算机硬件和软件的对建筑末端设备使用的专用控制器，例如 VAV 变风量箱控制器。微控制器体积小、集成度高、基本资源齐全、专用资源明确、具有特定控制功能，不同种类的末端设备需要使用不同种类的微控制器，相同现场总线的不同种类的微控制器可以连接在同一条现场总线上。国际标准 BACnet 称这种微控制器为 ASC 专用控制器（Application Specific Controller），LonWorks《开放式系统技术要求规范》称这种控制器为 ASC 专用控制器，“一个包含了完整的、可配置的网络化设备或节点，该控制器适用于某个特殊控制任务，设备供应商为其设置了专门的应用程序，包含有允许利用网络工具对其进行调整的参数”，文件 LonMark Facility Automation System Master Specification Division 15 (15950) 中对专用控制器 ASC 作了进一步解释，称之为 TDCU 末端（终端设备控制单元 Terminal Device Control Unit），这种单元都配置单片系统，神经元 Neuron Chip 3120 或 3150，能够与其他 LonWorks 设备进行网络通信和数据共享，配置操作系统和专用应用程序等。

有些微控制器虽然也可以自由编程，但编程内容仍然局限于该种终端设备的控制。

#### (2) 传感器/变送器

传感器/变送器是信号输入部分，也可统称为传感器或探测器，因为它们是以采集信息为目的构成一个整体概念。传感器负责物理信号采集，变送器负责将此信号转换为标准电气信号，组合起来供控制器使用。

#### (3) 执行器

执行器是用来改变操作量达到对被控量进行控制目的的终端设备。

#### (4) 变频器

变频器是改变电动机转速的电子设备，与执行器具有相同的功能，也是对被控量电动机转速进行控制的终端设备。

#### (5) 分布式输入输出模块

现场层的分布式输入输出模块已经在第5章《建筑设备监控系统控制网络层设备》中加以介绍，这些模块是通用控制器的组成部分，由于这些模块都是连接在现场层，所以可以把它划归在现场层。

## 2 微控制器

### 2.1 概述

微控制器也称专用控制器，本质上是用一个单片机（Single Chip Computer）或单片系统（System on Chip），代替模拟量控制器或继电器—接触器系统，配备适当的输入输出通道和固定用途的应用软件，形成专用数字控制器，实现对空调系统等末端设备的建筑环境控制过程的闭环控制、开环控制、定时控制、顺序控制、逻辑控制、位置控制和计数控制等，需要强调的是，不同的末端设备需要不同用途的微控制器，即需要不同的专用控制器。微控制器可以看成是一个嵌入式系统或者是一个单片机应用系统。

单片机 SCC 是指在一块芯片上集成的计算机。

单片系统 SoC 是一种新型单片机。单片机经过 20 世纪 70 年代以来的几代的发展，现在不仅有完善的计算机体系结构，还有许多面对测控对象的接口电路，已经超出了计算机的体系结构，包括外围串行扩展总线接口、现场总线接口等，称为单片系统。

建筑设备监控系统微控制器使用的主要现场总线包括 LonWorks 和 BACnet 等。

### 2.2 微控制器硬件

#### (1) 嵌入式微处理器

如 Motorola M 68000, ColdFire, Echelon Neuron Chip 3120/3150 等。

#### (2) 存储器

静态存储器 SRAM、动态存储器 DRAM、只读存储器 ROM、闪速存储器 Flash EPROM 等。

#### (3) I/O 输入输出接口

串口、并口、无线、红外、以太网、BACnet、LonWorks 等。

#### (4) I/O 输入输出设备

LCD、LED、键盘等。

## (5) 其他电路

A/D、D/A、时钟电路、复位电路、电源模块等。

## 2.3 微控制器软件

(1) 印制电路板级软件支持 BSP (Board Support Package)

提供设备驱动程序、负责操作系统与硬件设备的信息交换,包括硬件的初始化、读、写、查询等操作,给操作系统提供相应的设备驱动接口。

(2) 实时操作系统 RTOS (Real Time Operating System)

负责整个系统的任务调度、存储器分配、时钟管理、中断处理,提供文件、图形用户接口、网络数据库等功能。

(3) 应用编程接口 API (Application Programming Interface)

为编制应用程序提供各种编程接口库 (Library)。

## (4) 嵌入式应用程序

各种不同的应用程序,用于不同种类的微控制器,如 VAV 箱控制程序、FCU 风机盘管机组控制程序等。

## 2.4 微控制器控制对象

## (1) 暖通空调控制器

1) 吊顶空调机组,室内温度/湿度/二氧化碳浓度控制。

2) 变风量箱 (VAV)。

3) 室内温度控制/空气流,室内温度控制/三速风机控制。

4) 墙装温度控制模块,室内温度设定值/加热制冷工况选择。

5) 冷吊顶单元,室内温度设定值/室内湿度或露点温度显示。

6) 通风单元,室内二氧化碳浓度控制/风机起停控制/转速控制。

7) 风阀执行器,连续控制/开关控制/状态反馈。

8) 水阀执行器,连续控制/开关控制/状态反馈。

9) 水泵控制器,起停控制/转速控制/故障报警/运行时间累计。

10) 排风控制器,建筑静压控制/排风机起停控制/转速控制。

## (2) 照明设备控制器

1) 照明控制器,照明控制/运行时间累计。

2) 场景控制器,场景触发控制/淡入淡出控制。

## (3) 电梯设备控制器

工作状态指示/故障指示/火灾信号指示。

## (4) 供配电系统控制

1) 高压开关柜,开关位置/电流/电压/功率/功率因数。

2) 低压开关柜,开关位置/电流/电压/功率/功率因数。

3) 发电机,起停控制/电流/电压/故障报警/运行时间累计。

## (5) 变压器控制

绕组温升超限报警。

## 2.5 微控制器技术规范

## (1) 整体说明

微控制器控制那种末端装置、现场总线网络种类、行规文件编号、关键技术指标。

## (2) 型号说明

## (3) 微控制器消耗功率总和

## (4) 输入信号

数字信号 DI 数量、传感器种类及模拟量信号数量。

## (5) 输出信号

模拟量信号数量、数字量信号数量。

## (6) 电源

## (7) 硬件

CPU、存储器。

## (8) 通信

通信接口、通信速度、现场总线长度、现场总线可连接的节点数、现场总线电缆规格。

## (9) 微控制器与被控设备的整体化安装

## (10) 微控制器配套设备

## 2.6 LonWorks 微控制器现场总线网络

LonWorks 微控制器现场总线网络如图 9.6-2 所示。

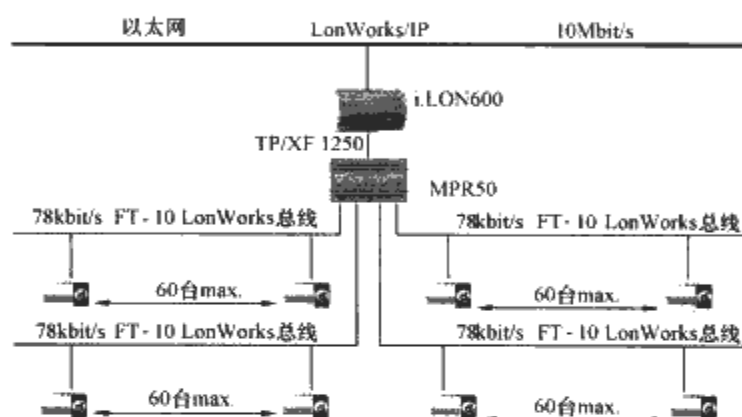


图 9.6-2 W7751HVAV 微控制器  
LonWorks 现场总线网络 (Honeywell)

## 2.7 BACnet 微控制器现场总线网络

BACnet 微控制器现场总线如图 9.6-3 所示。

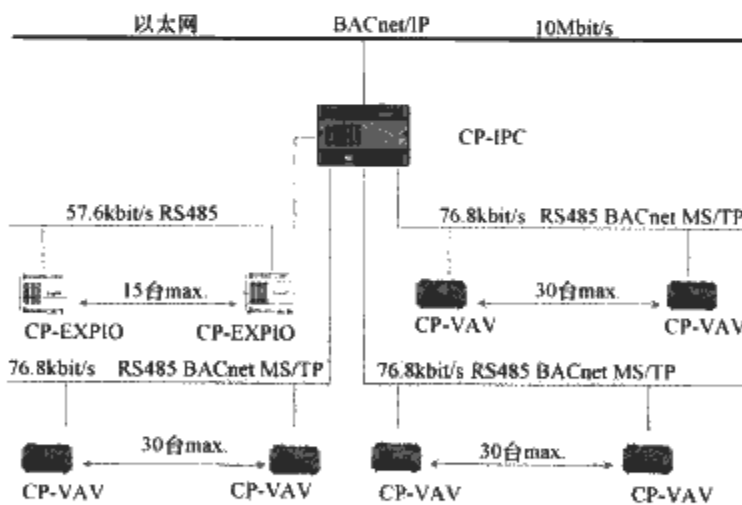


图 9.6-3 CP-VAV 微控制器 BACnet 现场总线网络  
(Honeywell)

## 3 测量系统

## 3.1 概述

测量系统包括采集信息的传感器和进行标准信号转换的变送器。

建筑设备监控系统控制过程的完成依赖使用各种测量仪表对被控量的准确测量,称为过程测量技术。测量仪表包括数字式和模拟式两种类型。数字式测量仪表是组成现场层的网络节点设备,传统模拟量测量仪表是直接连接控制器的模

拟信号输入设备。建筑设备监控系统目前仍然以使用模拟量测量仪表为主。

测量仪表包括传感器和变送器。传感器是测量仪表与被测对象直接发生联系的部分,感受被测量的变化,从被测对象中提取被测量的信息后,转换成为相应的输出信号。变送器是对传感器的信号进行转换,包括信号放大、线性化处理以及变换成规定的标准的统一的信号或现场总线数据传输的数字信号。传感器和变送器组成测量仪表(见图9.6-4)。



图 9.6-4 测量仪表组成

### 3.2 测量仪表在建筑设备监控系统的作用

测量仪表传感器和变送器为自动控制系统去测量被控量  $y$ , 作为现场信号的反馈量  $y_m$  送到控制器完成闭环反馈控制(见图9.6-5)。

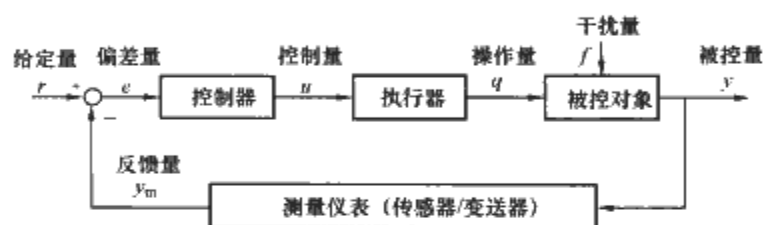


图 9.6-5 测量仪表(传感器和变送器)工作框图

### 3.3 测量

测量也称检测。测量是借助仪表求出被测量以一定的单位所表示的数值。建筑设备监控系统需要的温度、压力、流量、液位、气体成分等都需要进行测量。完成测量过程包括决定测量的单位、使用的测量方法和选择哪种测量仪表。

### 3.4 测量单位

建筑设备监控系统规定使用 SI 国际单位制,见表9.6-1。

表 9.6-1 SI 国际单位制基本单位及导出单位

被测量	长度	质量	时间	电流	力	力矩	压力	温度	温度
单位	米	千克	秒	安	牛顿	牛顿米	帕斯卡	热力学温度	摄氏温度
符号	m	kg	s	A	N	Nm	Pa	T	t
表示					kg·m/s <sup>2</sup>		N/m <sup>2</sup>	K	°C

### 3.5 测量方法

#### (1) 直接测量

测量温度、压力、流量、液位、气体成分。

#### (2) 间接测量

对物体焓值的测量是间接测量。焓是流体物质所具有的一种热力学性质,为该流体物质的体积、压力的乘积与内能的总和。

测量湿空气焓值  $i$ , 需要通过测量空气温度和空气含湿量以后,经过式(9.6-1)计算得到

$$i = (1.005 + 1.84d)t + 2500d \quad (9.6-1)$$

式中,  $i$  是包含 1kg 干空气的湿空气的焓值,即空气全热值, kJ/kg(干空气); 1.005 为干空气的定压比热, kJ/kg; 1.84 为水蒸气的定压比热, kJ/kg; 2500 是 0°C 的水变成 0°C 的水蒸气所需的汽化热, kJ/kg;  $d$  为空气的含湿量(水

蒸气含量), kg(水蒸气)/kg(干空气);  $t$  为空气干球温度, °C。定压比热是指在压力不变的条件下, 1kg 物质升高 1°C 所需的热量 kJ。(1.005 + 1.84d) $t$  部分是湿空气的“湿热”部分热量, 2500d 是湿空气的“潜热”部分热量, 2500d 就表示在湿空气中的 dkg 水的汽化热, 它与温度无关, 仅随含湿量变化而变化, 所以称为“潜热”。通过测量空气的相对湿度 RH, 可以求出空气的含湿量  $d$ 。当测出空气的干球温度和空气的相对湿度 RH, 就可以间接测出湿空气的焓值  $i$ 。

需要注意的是, 湿空气的焓值是以 1kg 干空气作为计算基础的。湿空气的焓值是 1kg 干空气的焓和 dkg 水蒸气的焓的总和。即上式规定的焓值是 (1+d)kg 湿空气在空气温度高于 0°C 时的焓值, 是所谓含有 1kg 干空气的湿空气的焓。而且为了避免计算每一个蒸气压下的水的显热, 假定所有水分都是在 0°C 时蒸发的, 所以这个焓值是以 0°C 为基准的焓值, 即假定 0°C 的干空气和 0°C 水的焓值为零。此外, 由于空调工程中, 湿空气的状态变化过程属于定压过程, 干空气和水蒸气的比热均为定压比热。

例题: 根据上式, 当空气温度  $t$  为 24°C; 测出相对湿度为 50%, 求焓值。

根据测出该空气相对湿度 RH 为 50%, 可以通过焓湿图查出该空气的含湿量  $d$  为 0.009kg/kg(干空气), 或者通过 ASHRAE 推荐的公式计算出 T°C 时的饱和水蒸气分压比  $p_{q,b}$ , 再用测出的相对湿度和饱和水蒸气分压比  $p_{q,b}$  数据即可计算出湿空气的含湿量  $d$ , 因为

$$d = 0.622(RH p_{q,b}/B - RH p_{q,b})$$

式中, RH 为相对湿度; B 为大气压力 101 325Pa;  $p_{q,b}$  为 T°C 时的饱和水蒸气分压比, 饱和水蒸气分压比的计算公式为  $\ln(p_{q,b}) = C_8/(T + C_9) + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13}\ln T$ , 式中,  $C_8 = -5800.2206$ 、 $C_9 = 1.3914993$ 、 $C_{10} = -0.04860239$ 、 $C_{11} = 0.41764768 \times 10^{-4}$ 、 $C_{12} = -0.14452093 \times 10^{-7}$ 、 $C_{13} = 6.5459673$  等均为 ASHRAE HANDBOOK Fundamental 提供的常数。

据此可计算出该空气的含湿量  $d$  为 0.009kg/kg(干空气)

有了干球温度 24°C 和含湿量  $d = 0.009\text{kg/kg(干空气)}$ , 可以计算出空气焓值为 47.02kJ/kg(干空气)。

$$i = (1.005 + 1.84 \times 0.009) \times 24 + 2500 \times 0.009 \\ = 47.02\text{kJ/kg(干空气)}$$

空调系统间接测量焓值的目的是为了进行空调节能控制。焓差控制是空调控制系统节能的重要方法。夏季工况, 当室外空气(新风)焓值小于室内空气(回风)焓值时, 可以转入空调节能器运行模式(例如最大新风量运行), 以节约空调系统能量。

美国 ASHRAE 90.1—2001 规定空调系统可以采用的 5 种焓值控制方法:

1) 焓差法 Differential Enthalpy。比较新回风焓值, 新风焓值小于回风焓值, 启动空调节能器运行模式。

2) 固定焓法 Fixed Enthalpy。新风焓值只要小于 47kJ/kg(24°C 干球温度, 相对湿度 50%), 启动空调节能器运行模式。

3) 电子焓法 Electronic Enthalpy。新风状态与焓湿图“A”曲线比较, 该曲线通过 24°C 和 40% 相对湿度线的相交点; 在低湿度区内, 该曲线几乎与干球温度线平行; 在高湿度区内, 该曲线几乎与等焓线平行。如果新风状态点落在“A”曲线以外(右上侧), 不起动空调节能器运行模式, 如果新风状态点落在“A”曲线以内(左下侧), 则启动空调节能器运行模式。

4) 温差法 Differential Dry Bulb。新风温度大于回风温

度,不起动空气节能器模式。

5) 固定干球温度法 Fixed Dry Bulb。根据所在地区气候条件,DDC 控制器把检测的新风温度与某个固定的空调节能器起动的临界温度作比较,低于该临界温度时,起动空调节能器运行模式。

新风高于回风温度时,不起动空气节能器模式。

在相对湿度为 50% 的干燥地区(哈尔滨、昆明、兰州、呼和浩特、拉萨、太原、西宁、乌鲁木齐、银川)、64% 中等地区(北京、长春、大连、贵阳、沈阳、石家庄、天津、西安)、85% 潮湿地区(上海、长沙、成都、福州、广州、杭州、合肥、济南、青岛、南昌、澳门、南京、武汉、厦门、郑州、台北、香港、海口),临界温度分别是:24℃、21℃和 18℃。三个状态点都接近 47kJ/kg 等焓线。固定温度法的作用就是把焓值检测转化为在不同相对湿度下的温度检测问题,因而,使焓差节能控制简化,与焓差法比较,误差不超过 5%~10%。

#### (3) 动态测量

VAV 变风量箱入口利用空气动态压力测量以求出风速。

#### (4) 静态测量

测量过程中被测量保持不变的测量。

### 3.6 测量误差

#### (1) 测量值绝对误差

测量值与被测量实际值的代数差值

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (9.6-2)$$

式中,  $\Delta$  为绝对误差;  $A_x$  为测量值;  $A_0$  为被测量实际值。

#### (2) 测量值相对误差

绝对误差与被测量实际值之比,常用 % 表示

$$\gamma_x = \Delta / A_0 \times 100\% \quad (9.6-3)$$

#### (3) 仪表基本误差

最大绝对误差与仪表量程之比,常用 100% 表示

$$\gamma_m = \Delta_{\max} / A_m \times 100\% \quad (9.6-4)$$

式中,  $\Delta_{\max}$  为最大绝对误差;  $A_m$  为仪表满量程值。

#### (4) 仪表精度

仪表基本误差  $\gamma_m$  去掉百分号后的数值,称为仪表精度。国家规定仪表精度等级常用序列为:0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 和 5.0。

### 3.7 测量仪表主要技术数据

#### (1) 量程

$A_m$ , 测量范围上限与下限的代数差。仪表精度一定时,量程  $A_m$  越大,仪表最大绝对误差  $\Delta_{\max}$  越大;仪表量程  $A_m$  一定时,精度越高,最大绝对误差  $\Delta_{\max}$  越小。

#### (2) 精度

建筑设备监控系统常用 1.0 级至 5.0 级仪表。

#### (3) 响应时间

从初始值第一次到达 90% 或 95% 最终值所需的时间。

#### (4) 灵敏度

仪表达到稳定状态后,输入量引起输出量变化的比值。

#### (5) 线性度

传感器特性曲线与直线之间的接近程度。

#### (6) 漂移

输入量不变时,经过一定时间后,输出量产生的变化。

#### (7) 重复性

多次量测的测量值之间的一致性。

#### (8) 工作环境条件

## 4 温度传感器

### 4.1 温度传感器种类

#### (1) 金属热电阻传感器

建筑设备监控系统常用铂电阻,性能稳定、线性度好。

#### (2) 热敏电阻(半导体热电阻)传感器

建筑设备监控系统常用负温度系数热敏电阻 NTC,灵敏度高。

### 4.2 铂热电阻传感器

利用金属电阻随温度升高而增大的物理性能制造的温度测量设备,这种设备称为热电阻(Resistance Temperature Device, RTD)。

#### (1) 作用

热电阻作为感温传感器,进行温度的测量,通常不经过变送器,直接作为控制器的温度输入信号。

#### (2) 铂热电阻

铂热电阻(Platinum RTD, PRTD), William Siemens 于 1871 年首先提出使用铂温度计。铂热电阻量程范围大、稳定而精确,建筑设备监控系统大量使用铂热电阻。

#### (3) 铂热电阻随温度变化公式

$$R_t = R_0 [1 + at - bt^2 - ct^3(t - 100)] \quad (9.6-5)$$

式中,  $R_t$  为在温度  $t$  时的电阻值,  $\Omega$ ;  $R_0$  为在 0℃ 时的电阻值,  $\Omega$ ;  $a, b, c$  为常数,  $^{\circ}\text{C}^{-1}, ^{\circ}\text{C}^{-2}, ^{\circ}\text{C}^{-4}$ , 见表 9.6-2;  $t$  为所测温度值。

表 9.6-2 常数  $abc$  (电阻温度系数  
 $\text{TCR} = 3850 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ )

温 度	$a$	$b$	$c$
$t < 0^{\circ}\text{C}$	$3.908\ 30 \times 10^{-3}$	$5.775\ 0 \times 10^{-7}$	$4.183\ 0 \times 10^{-12}$
$t \geq 0^{\circ}\text{C}$	$3.908\ 30 \times 10^{-3}$	$5.775\ 0 \times 10^{-7}$	0

#### (4) 铂热电阻基本误差与温度附加偏差

根据国际标准 IEC751, 铂热电阻按照其精度分为 A 级和 B 级两种, 见表 9.6-3。

表 9.6-3 IEC751 铂热电阻基本误差和附加误差

等级	0℃ 时基本误差 (%)	温度引起的附加偏差 (℃)
A	$\pm 0.06$	$\pm (0.15 + 0.002  t )$
B	$\pm 0.12$	$\pm (0.30 + 0.005  t )$

注  $|t|$  为测量温度的绝对值。

#### (5) 铂热电阻的热响应时间 $t_{90}$

热响应时间  $t_{90}$  指 PRTD 由于温度变化达到新的稳态电阻 90% 时的时间间隔, 以 s 计。PRTD 整体产品(包括外壳)热响应时间, 测量水介质时通常大于 20s, 测量空气介质时, 甚至达到 60s 以上。

#### (6) 建筑设备监控系统使用铂热电阻种类

主要使用 Pt1000, 偶尔根据用户特殊要求才使用 Pt500、Pt100。其中 1000、500 和 100 是指温度 0℃ 时的该热电阻的标称电阻值为 1000 $\Omega$ 、500 $\Omega$  和 100 $\Omega$  (见表 9.6-4)。

表 9.6-4 Pt100/Pt500/Pt1000 电阻值变化汇总

热电阻	Pt100	Pt500	Pt1000
0℃ 电阻值 ( $\Omega$ )	100	500	1000
温度系数 ( $10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ )	3850		

续表

热电阻	Pt100	Pt500	Pt1000
温度 (°C)	电阻 (Ω)		
-50	80.31	401.53	803.06
0	100	500	1000
50	119.4	596.99	1189.00
100	138.51	692.53	1375.00
150	157.33	786.63	1557.99
200	175.86	879.28	1737.96

(7) 铂热电阻与控制器的连接

铂热电阻与控制器的连接通常不需要通过变送器,因为建筑设备监控系统的控制器通常都有直接连接热电阻的输入端子。

除了简单的两线制连接外,为了消除连接线引起的由于铜缆温度系数与铂不同而导致的测量附加误差,可采用直流电桥工作原理,把连接引线分别配置在惠斯登电桥相邻的两臂上互相抵消,形成三线制连接,以消除引线附加误差。还有一种四线制方法的连接,除了消除引线误差外,还可以消除连接线路中的寄生电势引起的附加误差。建筑设备监控系统因为很少使用 Pt100,只有使用 Pt100 时,才使用三线制、四线制连接。通常使用的 Pt1000,只使用二线制连接,因为当使用 Pt1000 时,对于 1000Ω (0°C 时) 的铂热电阻测量值的变化,铜导线的线路电阻温度变化误差可以忽略不计。连接线越粗,铜导线引起的附加温度误差越小。对 Pt1000 传感器而言,当传感器的铜导线连接到控制器每 10m 的长度所引起温度附加误差见表 9.6-5。

表 9.6-5 铂热电阻每 10m 长度连接铜导线引起的温度测量附加误差

导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	AWG	附加温度误差 (°C)
0.5	20	0.18
1.0	17	0.09
1.5	15	0.06

使用铂热电阻时,应该尽量采用 1.5mm<sup>2</sup> 铜导线,以减少温度测量附加误差。

三线制惠斯登电桥测量法是 1833 年由 S. H. Christie 提出来,通常只对 Pt100 采用三线制或四线制连接。

必须注意,只有配置了可以接受 Pt1000、Pt500、Pt100 铂热电阻信号的控制器,才可以连接这些传感器;能够接收 Pt100 信号的控制器,只有配置了三线制或四线制的接线端子,才能使用 Pt100 铂热电阻传感器。如果控制器不能连接直接接入的热电阻传感器,就需要使用一台变送器,把热电阻信号转换为标准电气信号,如 4~20mA<sub>dc</sub> 或 0~10V<sub>dc</sub> 信号,然后再连接到控制器的 AI 模拟量输入端子上去。

4.3 热敏电阻传感器

热敏电阻(半导体电阻)传感器,是利用半导体的电阻随温度显著变化的特性制成的温度传感器,通常在建筑设备控制对象的温度变化范围内,热敏电阻温度变化率比铂热电阻变化率高出 10 倍之多。负温度系数的热敏电阻称为 NTC (Negative Temperature Coefficient),正温度系数热敏电阻称为 PTC (Positive Temperature Coefficient)。建筑设备监控系统常使用 NTC。热敏电阻的电阻随温度变化是非线性的,对负温度系数的热敏电阻 NTC,其电阻变化规律呈指数函

数关系。

(1) 作用

热敏电阻作为感温传感器,进行温度的测量,通常不经变送器,直接作为控制器的温度输入信号。

热敏电阻反应快、灵敏度高、精确,在建筑设备监控系统中有大量的使用。

(2) 热敏电阻随温度变化的公式

在 50°C 变化范围内,负温度系数热敏电阻 NTC 的指数函数变化公式

$$R_T = A e^{B/T} \quad (9.6-6)$$

式中,  $R_T$  为在热力学温度 (K)  $T$  时电阻值,  $\Omega$ ;  $B$  为特征温度, 2 000~4 000K;  $T$  为所测温度值, 热力学温度, K;  $A = R_0 e^{-B/T_0}$ ;  $T_0$  为 25°C 时的热力学温度 298K;  $R_0$  为在 25°C [273.15+25≈298(K)] 时电阻值,  $\Omega$ 。

(3) 热敏电阻基本误差与温度附加偏差

对于典型热敏电阻,在 50°C 温度范围内,基本误差与温度附加误差为 0.3°C + 1% × | $t$  - 25°C| ( $t$  单位取°C)。热敏电阻没有 RTD 金属热电阻稳定,所以必须通过老化处理以提高其稳定性。

(4) 热敏电阻的热响应时间  $t_{90}$

热敏电阻热响应时间  $t_{90}$  是从初始值第一次到达 90% 或 95% 稳定值时间间隔,比 RTD 金属热电阻快,可以达到 ms 级,但是制成产品后,由于外壳等传热原因,整体产品热响应时间,测量水介质时仍然在 10s 以上,测量空气介质时甚至达到 60s 以上 (见表 9.6-6)。

表 9.6-6 常用 NTC 热敏电阻一般特性

温度范围 (°C)	-50~150
25°C 时电阻值 (kΩ)	1~50
特征温度 (K)	2000~5500
最高工作温度 (°C)	150
热响应时间 $t_{90}$ (ms)	1~60 000

(5) 平均值热敏电阻传感器

为了提高测量精度,有的生产厂提供一种双热敏电阻结构产品,两个热敏电阻共同测量一个测点的温度值,可以同时得到两个电阻数据,连接到两个 AI 模拟量输入端,再取两个数据的平均值作为该测点的温度数据,以提高测量精度,称为平均值热敏电阻传感器。

(6) 建筑设备监控系统使用热敏电阻种类

主要使用 NTC20k,也使用 NTC1k、NTC2k 等。其中 1k、2k 等是指温度 25°C 时的该热敏电阻的标称电阻值为 1kΩ、2kΩ、10kΩ、20kΩ、50kΩ (见表 9.6-7)。

表 9.6-7 常用 NTC 热敏电阻阻值

温度 (°C)	NTC1k (Ω)	NTC2k (Ω)	NTC10k (kΩ)	NTC20k (kΩ)	NTC50k (kΩ)
-50	32 886	77 977	667.83	1667.57	4168.93
-40	18641	43 040	335.67	813.44	2033.61
-30	10 961	24 651	176.68	415.48	1038.70
-20	6662	14 614	96.97	221.30	553.24
-10	4175	8 947	55.30	122.47	306.18
0	2961	5 642	32.65	70.20	175.51
10	1781	3 657	19.90	41.65	103.90
20	1205	2 431	12.49	25.35	63.49



续表

温度 (℃)	NTC1k (Ω)	NTC2k (Ω)	NTC10k (kΩ)	NTC20k (kΩ)	NTC50k (kΩ)
25	1000	2000	10.00	20.00	50.00
30	834	1655	8.06	15.89	39.41
40	589	1151	5.32	10.21	25.53
50	424	816	3.60	6.72	16.80
60	310	590	2.49	4.52	11.30
70	231	434	1.75	3.10	7.75
80	175	324	1.26	2.12	5.42
90	134	246	0.92	1.54	3.85
100	104	189	0.68	1.12	2.79
130	52	147	0.30	0.46	1.15
150	34	116	0.18	0.27	0.68

### (7) 热敏电阻与控制器的连接

热敏电阻与控制器的连接通常不需要通过变送器,因为建筑设备监控系统的控制器通常有直接连接热电阻的输入端子。

NTC 热敏电阻只使用两线制连接。为了减少温度测量附加误差,一般要求尽量采用 1.5mm<sup>2</sup> 铜导线。

必须注意,只有配置了可以接收 NTC1k、NTC2k、NTC10k、NTC20k、NTC50k 等热敏电阻信号输入的控制器,才可以连接这些传感器;如果控制器不能连接直接接入的热敏电阻传感器,就需要使用一台变送器,把热敏电阻信号转换为标准电气信号,如 4~20mA DC 或 0~10V DC 信号,然后再连接到控制器的 AI 模拟量输入端子上去。

## 5 变送器

建筑设备监控系统除了直接使用电阻信号作为温度被控量输入以外,其他物理信号输入均采用传感器+变送器方式,例如湿度、压力、流量、液位、成分分析等信号。

### 5.1 定义

将传感器的物理测量信号或普通电信号转换为标准电信号输出或能够以现场总线通信协议信号方式输出的设备。

### 5.2 作用

作为测量元件的信号转换仪表,把传感器信号转换成为标准信号作为控制器输入信号。

### 5.3 主要参数

- 1) 变送器精度:仪表精度。
- 2) 响应时间  $t_{90}$ :从初始值第一次到达 90% 或 95% 稳定值时间间隔。
- 3) 满量程调节范围:以 % 表示。
- 4) 零位调节范围:以 % 表示。
- 5) 电源种类及消耗功率。

### 5.4 变送器种类

#### (1) 直流信号变送器

输入 0~5V/0~10V/0~100V/0~10mA/0~20mA/4~20mA 等直流信号,输出各种需要的标准信号,如 0~

10V DC。

#### (2) 电阻信号变送器

输入各种电阻信号,输出各种需要的标准信号,如 0~10V DC。

#### (3) 温度变送器

输入各种温度传感器信号,输出各种需要的标准信号,如 0~10V DC。

#### (4) 湿度变送器

输入湿度传感器信号,输出各种需要的标准信号,如 0~10V DC。

#### (5) 压力变送器

输入压力传感器信号,输出各种需要的标准信号,如 0~10V DC。

#### (6) 流量变送器

输入流量传感器信号,输出各种需要的标准信号,如 0~10V DC。

#### (7) 液位变送器

输入液位传感器信号,输出各种需要的标准信号,如 0~10V DC。

#### (8) 电量变送器

输入各种电量传感器信号,输出各种需要的标准信号,如 0~10V DC。

#### (9) 转速(频率)变送器

输入变频器转速传感器信号,输出各种需要的标准信号,如 0~10V DC。

## 6 湿度变送器

### 6.1 湿度测量

#### (1) 含湿量 $d$

含湿量  $d$ ,表示湿空气中水蒸气质量与干空气质量之比,即每 1kg 质量干空气中所含水蒸气质量 (kg)。

$$d = 0.622 p_q / (p - p_q) = 0.622 RH p_s / (p - RH p_s) \quad (9.6-7)$$

式中, $d$  为湿空气含湿量,kg/kg(干空气); $p$  为大气压力(标准大气压力 101 325Pa),Pa; $p_q$  为湿空气中的水蒸气分压力,Pa; $RH$  为空气相对湿度,%; $p_s$  为饱和湿空气中水蒸气分压力,Pa。

例:已知大气压  $p=101\ 325\text{Pa}$ ,空气中水蒸气分压力  $p_q=1700\text{Pa}$ ,则湿空气中的含湿量

$$\begin{aligned} d &= 0.622 \times 1700 / (101\ 325 - 1700) \\ &= 0.010\ 61\text{kg/kg(干空气)} \end{aligned}$$

#### (2) 相对湿度 $RH$

建筑设备监控系统中常使用相对湿度 (Relative Humidity) 讨论空气湿度,用符号  $RH$  表示。

相对湿度表示空气的饱和程度或潮湿程度。相对湿度是指湿空气中的水蒸气分压力与饱和湿空气中水蒸气分压力之比,简单地说,相对湿度  $RH$  就是空气的实际水蒸气量与同温同压下所含最大的水蒸气量的比值

$$RH = p_q / p_s \quad (9.6-8)$$

式中, $RH$  为湿空气相对湿度,%; $p_q$  为湿空气中的水蒸气分压力,Pa; $p_s$  为饱和湿空气中的水蒸气分压力,Pa。

相对湿度变送器用于直接测量室内空气、室外空气、风道空气等介质的相对湿度。

例:已知大气压  $p=101\ 325\text{Pa}$ ,室温  $t=28^\circ\text{C}$  时的饱和水蒸气分压力  $p_s$  为 3779.31Pa,湿度变送器测出相对湿度  $RH$



为60%，根据式(9.6-8)可以计算出空气中的水蒸气分压力  $p_q = RH p_s = 60\% \times 3779.31 \text{ Pa} = 2267.59 \text{ Pa}$ ，根据公式，可以计算出空气中的含湿量  $d = 0.622 RH p_s / (p - p_q) = 0.622 \times 60\% \times 2267.59 / (101325 - 2267.59) = 0.0142 \text{ kg/kg(干空气)}$ 。

### (3) 露点温度 $t_d$

露点温度  $t_d$ ，是湿空气的水蒸气开始凝结时的温度，即饱和湿空气的温度。

### (4) 绝对湿度

指空气含湿量，每立方米体积湿空气中所含的水蒸气质量(kg)，通常用水蒸气分压力表示(Pa)，绝对湿度大，空气比较潮湿，绝对湿度小，空气比较干燥。饱和空气的绝对湿度称为饱和绝对湿度。由于空气体积随温度变化而变化，所以绝对湿度使用不方便，因此通常使用“含湿量”表示空气湿度，不用绝对湿度。

### (5) 湿球温度 $t_w$

湿球温度  $t_w$ ，是干湿球温度计(psychrometer)在风速大于2.5m/s的气流中的湿球温度计读数。当空气相对湿度RH较低时，湿球纱布上的水分蒸发快，蒸发需要的热量多，水温下降也越多，湿球温度也越低，因此，干、湿球温差越大，反之，如果空气相对湿度高，则干、湿球温差小，当相对湿度达到100%时，湿纱布上的水分不再蒸发，干、湿球温度相等，因此干、湿球温度差值反映了空气相对湿度大小。知道空气的干、湿球温差  $t - t_s$  以后，就可以求出湿空气的水蒸气分压力  $p_q$ 。因为湿球温度容易测得，所以它是空调工程中常利用的一个重要参数。

## 6.2 湿度变送器工作原理

### 6.2.1 湿度变送器

把湿空气的湿度信号变化变换为标准电气信号的设备。

### 6.2.2 湿敏元件

由于环境湿度变化引起器件物理变化的敏感作用称为湿敏。由这种材料制成能够对环境湿度变化产生响应的元件称为湿敏元件，湿敏元件是湿度传感器，配合电路转换的变送器后，成为湿度变送器。

### 6.2.3 湿敏元件种类

#### (1) 水分子亲和型湿敏元件

由于水分子有较大的偶极矩，易于附着并渗透到固体表面内，利用这种现象制成的湿敏元件称为水分子亲和型湿敏元件。

#### (2) 非水分子亲和型元件

与水分子亲和力无关的湿敏元件。

### 6.2.4 水分子亲和力作用湿敏元件工作原理

水分子的附着包括物理吸附和化学吸附，会造成湿敏元件的电气性能变化，例如氯化锂湿敏元件的电阻会发生变化，可以用来反映空气的相对湿度大小，因为在一定的相对湿度时，氯化锂吸附的水分是一定的，相对湿度越高，吸附水分越多，电阻越小，这种湿敏元件是阻抗式湿敏元件；另一种湿敏元件的介电常数  $\epsilon$  会由于水分子吸附后发生变化而影响用这种材料制成的电容器的电容变化，由于水的相对介电常数  $\epsilon_r = 81$ ，比一般物质大很多(一般物质相对介电常数  $\epsilon_r$  介乎2~5之间，例如，聚苯乙烯为2.5)，因此湿敏材料电容器对湿度变化很敏感，电容器的电容值由于湿敏材料电介质吸附水蒸气以后相对介电常数  $\epsilon_r$  加大而增大，可以反映环境湿度的变化，称为电容式湿敏元件。而且这种电容式湿敏元件在低湿度40%RH以下时，仍然可靠工作，比阻抗式湿敏元件性能好。

### 6.2.5 非水分子亲和力作用湿敏元件工作原理

利用湿度的物理作用，无需水分子吸附，所以反应速度比水分子亲和式湿敏元件快，没有“湿滞”现象。通常有红外式、超声波式、微波式等等产品，但是建筑设备监控系统基本不使用，因为它们的成本较高。

### 6.2.6 平板电容器电容表达式

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r A / d \quad (9.6-9)$$

式中，C为平板电容器电容量(一般在100~500pF之间)，F； $\epsilon_0$ 为真空介电常数  $8.854184 \times 10^{-12}$ ，F/m； $\epsilon_r$ 为湿敏材料相对介电常数( $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ )，1； $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ， $\epsilon$ 为湿敏材料介电常数，随着吸附水蒸气加多而加大，F/m；A为平板面积， $\text{m}^2$ ；d为平板距离，m。

### 6.2.7 某湿度变送器湿敏电容器电容表达式(电容与RH成正比)

$$C = C_{76} [1 + \alpha_{76} (RH - 76)] \quad (9.6-10)$$

式中，C为湿敏电容器电容，pF； $C_{76} = 500 \text{ pF} \pm 50 \text{ pF}$ ； $\alpha_{76} = (2900 \pm 150) \times 10^{-6} / \% \text{RH}$ 。

该湿敏电容线性误差小于2%RH。

### 6.2.8 电容湿敏元件及变送器技术要求

- 1) 湿度测量范围：10%RH~90%RH。
- 2) 环境温度：一般不超过50℃。
- 3) 精度： $\pm 3\% \text{RH} \sim \pm 5\% \text{RH}$ (在30%RH~70%RH环境中)。
- 4) 稳定性： $\pm 0.5\% \text{RH/年}$ 。
- 5) 温度系数：0.2%~0.8%RH/℃。
- 6) 响应时间：整体产品在秒级至分钟级。
- 7) 输出信号：0~10V DC，4~20mA DC。
- 8) 长期稳定度：一般当50%RH时，稳定度 $\pm 1\% \sim \pm 2\% \text{RH/年}$ 。

## 6.3 电容式湿敏传感器/变送器

电容式湿度变送器常采用平板式电容器结构，在单晶硅基层上用两层铂片之间加上电介质热固性聚合体制成电容器，利用平板电容器电容正比于极板间介质的介电常数  $\epsilon$  特性测量空气相对湿度RH，介电常数  $\epsilon$  与空气相对湿度RH成正比，因而电容量变化与空气相对湿度成正比，有的产品，大约每变化1%RH，电容变化0.4pF。典型产品技术参数见表9.6-8。

表 9.6-8 典型电容式湿度变送器

参 数	HS1100(Humirel)	H1(Philips)
湿度测量范围	1%~99%	10%~90%
环境温度	-40~100℃	0~85℃
额定电容	180pF(RH=55%)	122pF(RH=43%)
平均灵敏度	0.34pF/%RH	0.4pF/%RH
温度系数	0.04pF/℃	0.01%RH/K
响应时间 (33%~76%RH)	5s	<5min
湿度测量滞后	1.5%	3%
长期稳定度	0.5%RH/年	—
供电电压	5V, 7Vmax	15Vmax
泄 漏	1nA	在100kHz时, $\tan \delta < 0.035$

## 7 压力变送器

### 7.1 压力测量

(1) 压力 (见表 9.6-9)

压力是垂直作用在单位面积上的力, 压力单位是帕, 用符号 Pa 表示,  $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ 。

$$p=F/S \quad (9.6-11)$$

式中,  $p$  为压力, Pa;  $F$  为作用力, N;  $S$  为作用面积,  $\text{m}^2$ 。

表 9.6-9

压力换算表

名称	Pa	kg/cm <sup>2</sup>	大气压	mmHg	mmH <sub>2</sub> O	bar	psi
1Pa	1	$1.0197 \times 10^{-5}$	$9.8692 \times 10^{-6}$	$7.5006 \times 10^{-3}$	0.10197	$10^{-5}$	$1.45 \times 10^{-4}$
1kgf/cm <sup>2</sup>	98066	1	0.96784	735.559	$10^4$	0.980665	14.217
1大气压	101325	1.03328	1	760	10332.5	1.01325	14.706
1mmHg	133.325	$1.3595 \times 10^{-3}$	$1.316 \times 10^{-3}$	1	13.595	$1.33325 \times 10^{-3}$	$1.933 \times 10^{-2}$
1mmH <sub>2</sub> O	9.806375	$0.9997 \times 10^{-4}$	$0.96787 \times 10^{-4}$	$7.3556 \times 10^{-2}$	1	$9.806375 \times 10^{-5}$	$1.422 \times 10^{-5}$
1bar	100000	1.0197	0.98692	750.06	10197	1	14.5
1psi	$6.895 \times 10^3$	$7.031 \times 10^{-2}$	$6.8 \times 10^{-2}$	51.715	$7.039 \times 10^2$	$6.895 \times 10^{-2}$	1

(2) 压力种类

1) 绝对压力: 全部压力。

2) 表压力: 绝对压力与大气压力之差。

3) 负压力: 绝对压力小于大气压力时, 表压力形成负值, 称为负压力, 此负值的绝对值称为真空度。

4) 压差: 两个压力之差,  $\Delta p = p_1 - p_2$ 。

(3) 压力测量

建筑设备监控系统中的压力测量, 包括空气压力和液体压力测量。

### 7.2 压力变送器

#### 7.2.1 压力变送器

把空气或液体压力 (压差) 信号转换为标准电气信号的设备。

#### 7.2.2 压力变送器种类

压阻式、电容式、弹性式等。

#### 7.2.3 压阻式压力变送器

(1) 工作原理

1856年, Lord Kelvin 发现导体受到机械应力作用时, 其电阻会发生变化, 1954年, C. S. Smith 又发现半导体硅和锗受到机械应力作用时, 其电阻发生显著变化, 这些现象称为压阻效应。

$$R=\rho L/A \quad (9.6-12)$$

式中,  $R$  为电阻,  $\Omega$ ;  $\rho$  为材料电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ ;  $L$  为器件长度,  $\text{m}$ ;  $A$  为器件截面积,  $\text{m}^2$ 。

当器件受到应力时,  $\rho$ 、 $L$ 、 $A$  都会发生变化, 对半导体而言, 除了尺寸发生变化外, 载流子数量及其平均迁移率均将改变, 与金属不同, 在受力状态下, 电阻率  $\rho$  的变化要明显超过尺寸的变化。因此可以利用半导体电阻变化测量压力大小, 称为可变电阻压敏元件构成的压阻式压力变送器。

(2) 变送器结构

粘贴式或非粘贴式。半导体式压力变送器标称电阻为  $1000 \sim 5000\Omega$  之间。应变系数高达  $40 \sim 200$ 。

(3) 半导体压阻式变送器特点

灵敏度高、测量范围宽 ( $10\text{Pa} \sim 60\text{MPa}$ )、精度高、寿

常用其他压力单位有:

1 工程大气压  $= 1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 98\,066\text{Pa} \approx 98\text{kPa}$

1 标准大气压  $= 101\,325\text{Pa}$

1 psi  $= 6.895\text{kPa}$  (psi 为磅/每平方英寸, pound per square inch, pound/inch<sup>2</sup>)

1m 水柱压力  $= 10\text{kPa}$

1MPa  $= 1000\text{kPa}$

1bar  $= 100\text{kPa} = 10^6\text{dyn}/\text{cm}^2$  ( $1\text{dyn} = 10^{-5}\text{N}$ )

$1\text{dyn}/\text{cm}^2 = 0.1\text{Pa} = 10^{-6}\text{bar}$

$1\text{Pa} = 10\text{dyn}/\text{cm}^2$

命长、工作可靠、易于制成集成电路芯片, 与 A/D 或 D/A 电路做在一个芯片上。

#### 7.2.4 电容式压力变送器

(1) 工作原理

可变电容压敏元件构成的电容器, 其中一个可以变形的弹性膜片式极板受到机械应力作用时, 由于该膜片极板产生变形, 从而导致与另一个极板间的电容发生变化, 因此可以构成压敏式电容压力变送器。

(2) 变送器结构

压敏传感器是不锈钢膜片极板与刚性连接的陶瓷镀金极板构成一个可变电容, 压力增加, 电容减少, 配置集成电路的变送器, 把这个变化的电容转换成标准电气信号。压力变送器通常有铸铝外壳。

(3) 电容式压力变送器特点

灵敏度高、测量范围宽 ( $10\text{Pa} \sim 60\text{MPa}$ )、精度高、寿命长、工作可靠、受温度影响小。

#### 7.2.5 弹性式压力变送器

(1) 工作原理

利用弹性压敏元件受到压力变形时产生的位移量转换成标准电气信号。

弹性压敏元件主要包括薄膜式 (膜片式、波纹管式两种) 和弹簧管式 (单圈式、多圈式两种) 两大类型。建筑设备监控系统主要使用薄膜式弹性压敏元件。

(2) 变送器结构

膜片式、波纹管式两种弹性压敏元件均采用粘贴式结构。

(3) 弹性式压力变送器特点

结构简单、测量范围宽 ( $2\text{kPa} \sim 60\text{MPa}$ )、工作可靠、受温度影响小。

#### 7.2.6 压力变送器技术要求

1) 压力测量范围:  $0 \sim 25 \sim 50\text{Pa}$  (微压力),  $0 \sim 500\text{Pa}$  (低压力),  $0 \sim 50\text{kPa}$  (中压力),  $0 \sim 500\text{kPa}$  (普通压力),  $0 \sim 3500\text{kPa}$  (高压压力)。

2) 环境温度:  $(-30 \sim 70)^\circ\text{C}$ 。

3) 精度:  $\pm 0.5\% \sim \pm 1.5\%$ 。

- 4) 温度系数:  $\pm 2\%/50^{\circ}\text{C}$ 。
- 5) 响应时间: ms 级。
- 6) 阻尼时间: 0~30s 可调。
- 7) 输出信号: 0~10V DC, 4~20mA DC。
- 8) 稳定性: 1%/年。

### 7.3 液体压力变送器产品

液体压力变送器产品见表 9.6-10。

表 9.6-10 液体压力(压差)变送器

参 数	STG94L(Honeywell)	Model209(Setra)
压敏元件	硅压阻式	电容式
压力测量范围(kPa)	0~3500(0~500psi)	0~689(0~100psi)
工作环境温度( $^{\circ}\text{C}$ )	-25~70	-20~80
精 度	$\pm 0.10\%$	$\pm 0.25\%$
量程调整	10%(零点)	—
供 电	24V 交直流电源供电	9~30V DC 供电
输出信号	4~20mA	4~20mA, 0~5V DC
温度系数	—	$\pm 1.8\%/50^{\circ}\text{C}$
响应时间	—	5ms
阻尼时间	0~30s 可调	—
长期稳定度	—	0.5%/年
主要应用	冷热水系统恒定压差控制的供回水压差信号, 量程 600kPa	

### 7.4 空气压力变送器产品

空气压力变送器产品见表 9.6-11。

表 9.6-11 空气压力(压差)变送器

参 数	Model266-050L (Setra) 微压变送器	MMC27251A12 (Honeywell) 风道静压变送器	DPS400 (Honeywell) 空气压差开关
压敏元件	电容式	硅压阻式	硅膜片弹性式
压力测量范围 (Pa)	0~ $\pm 50$	0~746	40~400
工作环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	-18~65	0~52	-20~85
精 度	$\pm 1.0\%$	$\pm 0.1\%$	动作回环 20Pa
供 电	9~30V DC 供电	10~35V DC 供电	开关触点容量 1.5A/250V DC
输出信号	4~20mA, 0~10V DC	4~20mA	
温度系数	$\pm 0.06\%/^{\circ}\text{C}$	—	—
主要应用	房间正、 负压控制	VAV 定静压控制	过滤器堵塞报警

## 8 流量变送器

### 8.1 流量测量

#### (1) 流量

单位时间流经某一截面的流体数量。以体积表示的称为体积流量  $q_V$ , 以质量表示的称为质量流量  $q_m$ 。

$$q_m = \rho q_V \quad (9.6-13)$$

式中,  $\rho$  为材料密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $q_V$  为体积流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

建筑设备监控系统常用体积流量单位, 包括立方米/小时 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) 和升/秒 ( $\text{L}/\text{s}$ )。

#### (2) 流量种类

- 1) 空气流量。
- 2) 蒸气流量。
- 3) 液体流量。

#### (3) 常用流量测量

- 1) 空气体积流量测量, 用于 VAV 系统总风量控制。
- 2) 冷冻水体积流量测量, 用于冷量计量, 完成冷水机组台数控制。

### 8.2 流量变送器

#### (1) 流量变送器

把空气或液体流量信号转换为标准电气信号的设备。

#### (2) 体积流量变送器种类

常用差压式、电磁式、涡轮式等。

### 8.3 差压式流量变送器

#### (1) 工作原理

测量穿过插入所要测量流量的加压管中的障碍物的压降, 伯努利定理把流体的压力、速度和高度联系起来, 从而可以用流体压力变化求出流体速度, 进而计算出流体的流量来。根据能量守恒定律, 伯努利定理表达式为

$$p + \rho gh + \rho v^2/2 = \text{常数} \quad (9.6-14)$$

式中,  $p$  为液体静压力, Pa;  $\rho$  为液体密度 (不可压缩),  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;  $h$  为相对于参考液位的高度, m;  $v$  为液体流速,  $\text{m}/\text{s}$ 。

当截面从管道截面  $A_1$  变化到节流装置截面  $A_2$  时, 根据质量守恒定律, 截面的变化, 将引起速度的相应变化

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (9.6-15)$$

$$\text{因此} \quad p_1 + \rho gh_1 + \rho v_1^2/2 = p_2 + \rho gh_2 + \rho v_2^2/2 \quad (9.6-16)$$

$$\text{所以} \quad v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad (9.6-17)$$

式中,  $p_1 - p_2$  为障碍物的压降  $\Delta p$ , Pa。

测出障碍物的压降  $\Delta p$ , 可以求出  $v_2$ , 再根据公式  $Q = A_2 v_2$ , 即可求出理论上的体积流量。

因为流体流经节流装置时, 流束收缩, 流速提高, 静压减小, 在节流装置前后就产生压差  $\Delta p$ , 压差大小与流速有关, 流速越大, 产生的压差越大, 根据流速与压差  $\Delta p$  之间的关系, 即可得到流速大小。

#### (2) 差压式变送器结构

包括节流元件、取压装置以及前后管段。

#### (3) 差压式流量变送器特点

测量范围宽达  $1.5 \sim 100\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  (DN50~DN1000 的管道均可), 精度高达  $\pm 1\% \sim \pm 2\%$ , 寿命长, 工作可靠。缺点是有压力损失, 而且要求提供前 10 倍直径长度后 5 倍直径长度的直管安装段, 安装要求比较严格。

### 8.4 电磁式流量变送器

#### (1) 工作原理

根据导电流体在磁场中运动产生感应电动势, 电动势大小与被测流体速度成正比, 测出感应电动势, 即可测出流体流速, 从而构成电磁式流量变送器。

$$E = Bdv \quad (9.6-18)$$

式中,  $E$  为感应电动势;  $B$  为磁极间的磁感应强度, T,  $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2 = 1\text{Vs}/\text{m}$ ;  $d$  为管道内径, m;  $v$  为流体速度,  $\text{m}/\text{s}$ 。

## (2) 变送器结构

包括电动势测量电路、电极、内衬、磁路系统、外壳组成。

## (3) 电磁式流量变送器特点

测量范围宽,  $0.1 \sim 100\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ , 流速从  $0.3 \sim 10 \text{ m/s}$ , 管道口径 DN 可高达  $25\,000 \text{ mm}$ , 测量精度可高达  $0.5\%$ 、工作可靠、非接触式测量, 因此没有压力损失, 对前 5 倍直径后 2 倍直径的直管安装段的要求, 没有节流式流量变送器严格, 但是要求传感器与变送器必须配套使用以及必须消除测量电路的各种电气干扰信号, 同时, 外壳防护等级要求达到 IP65 (防尘防喷水级)。

## 8.5 涡轮式流量变送器

## (1) 工作原理

流体流过涡轮时, 涡轮受力旋转, 其转速与管道流体平均流速成正比; 涡轮的转动, 周期地改变磁电转换器的磁阻值, 检测线圈中的磁通量随之发生周期性变化, 产生周期性的感应电动势, 形成电脉冲计数, 这样, 涡轮的转速通过检测线圈和磁电转换装置转换为相应频率的电脉冲计数信号, 测取了电脉冲计数的频率, 即可测出涡轮转速, 即可确定流体的体积流量, 通常还需要转换为标准电气信号  $0 \sim 10 \text{ V DC}$  或  $4 \sim 20 \text{ mA}$  输出

$$q_v = f/K \quad (9.6-19)$$

式中,  $q_v$  为体积流量,  $\text{m}^3/\text{s}$  或  $\text{L/s}$ ;  $f$  为流量变送器输出信号的频率, 每秒多少个脉冲计数,  $1/\text{s}$ ;  $K$  为流量变送器的仪表系数,  $\text{P/m}^3$  或  $\text{P/L}$ , 其中  $P$  为脉冲计数数量常数, 表示每秒  $P$  个脉冲计数代表  $1 \text{ m}^3$  体积流量。

## (2) 变送器结构

由表体、导流体、涡轮、轴、轴承及信号检测器 (永久磁铁、导磁铁芯、线圈等) 组成。

## (3) 涡轮式流量变送器特点

涡轮式流量变送器是叶轮式流量计的主要品种, 叶轮式流量计还有水表、风速计等。叶轮式流量变送器是重复性、精度最好的流量变送器, 可以达到  $\pm 0.25\%$ , 变送器结构简单, 可以制成插入式产品, 安装和维修很方便, 测量范围广, 适应高温、高压等环境, 外壳防护等级要求达到 IP65 (防尘防喷水级), 缺点是安装最短直管段比较长, 前  $20D$  直径后  $5D$  直径, 一定水平安装, 为了减少轴承磨损和损害涡轮叶片, 通常要求安装液体过滤器以防止杂质进入涡轮, 为了防止液体逆向流动, 在变送器后面需要加装止回阀。

## 8.6 常用流量变送器性能比较

常用流量变送器性能比较见表 9.6-12。

表 9.6-12 常用流量变送器

流量变送器	被测介质	管径 DN (mm)	流量范围 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	精度 (%)	压力损失 (kPa)	安装要求	寿命
孔板压差式	水 乙二醇	50~1000	1.5~100 000	$\pm(1 \sim 2)$	$<20$	直管段	中等
文丘里压差式	空气 蒸气	150~400	30~1800	$\pm(1 \sim 2)$	$<5$	直管段	长
电磁式	空调水 乙二醇	6~1200	0.1~12 500	$\pm(1 \sim 1.5)$	0	直管段无要求	长
涡轮式	空调水 乙二醇 空气	4~500	0.04~6 000	$\pm(0.5 \sim 1)$	$<25$	直管段 + 过滤器	低

## 9 VAV 变风量箱空气流速变送器

## 9.1 VAV 变风量箱风量测量

VAV 变风量空调控制系统需要测量每个 VAV 变风量箱的风量, 即空气流量。测量 VAV 箱的空气流量是采用测量空气流速度的方法。VAV 箱空气体积流量是流速与风管截面积的乘积, 该计算面积应该是流速变送器所在部位的截面积。

$$\text{空气流量} = \text{空气流速} \times \text{风管面积}$$

测量空气流速通常采用测量空气流动时由风速产生的动压, 再用计算的方法求出空气流速。

## 9.2 皮托管

VAV 空调系统适合使用简单而精确的皮托管方法, 也是源于伯努利定理把流体的压力、速度和高度联系起来的压差测量, 同样属于孔板流量计或文丘里管 (又称细腰管流量计) 同一种类型的流体流速的测量方法。

19 世纪法国物理学家 H. Pitot 研发了皮托管测量流体流速的装置, 现在仍然是流速测量的重要方法之一 (见图 9.6-6、图 9.6-7)。

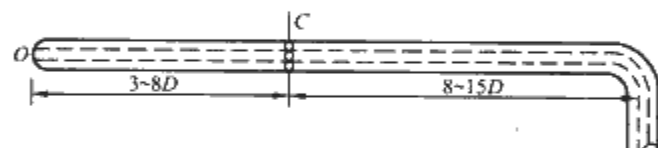


图 9.6-6 皮托管

测量 VAV 箱的空气动态压力常用皮托管测量, 测出迎风面的空气全压和垂直于或背风面的空气静压, 全压减去静压就是空气动压, 空气动压开平方运算, 即可算出空气流速。

低速范围, 空气也可看成是不可压缩的流体, 伯努利定理成立, 根据伯努利定理可以得到空气流速  $V_s$  表达式

$$V_s = \sqrt{2(p_T - p_S)/\rho} = \sqrt{2p_v/\rho} \quad (9.6-20)$$

式中,  $p_T = p_S + p_v$ ;  $p_v = p_T - p_S$ ;  $V_s$  为空气流速,  $\text{m/s}$ ;  $p_v$  为空气动压 (空气流动形成的压力),  $\text{Pa}$ ;  $p_T$  为空气全压,  $\text{Pa}$ ;  $p_S$  为空气静压,  $\text{Pa}$ ;  $\rho$  为空气密度,  $1.293 \text{ kg/m}^3$  ( $20^\circ\text{C}$ )。

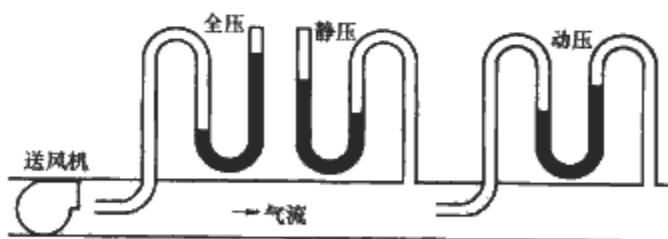


图 9.6-7 皮托管测量全压  $p_T$  和静压  $p_S$

## 9.3 空气流速计算公式

空气流速与动压关系的计算公式为

$$V_s = 1.29\sqrt{p_T - p_S} = 1.29\sqrt{p_v} \quad (9.6-21)$$

式中,  $V_s$  为风速,  $\text{m/s}$ ;  $p_v$  为空气动压,  $\text{Pa}$ 。

美国标准 FMA (Factory Mutual Association) 规定最低空气动压不要低于  $8 \text{ Pa}$ , 否则测量结果误差较大,  $8 \text{ Pa}$  所对应的风速为

$$V_s = 1.29\sqrt{8} = 1.29 \times 2.83 = 3.6 \text{ m/s}$$

上述计算结果说明进入 VAV 变风量箱的空调风风速要

求不能低于 3.6m/s, 因为风速越低, 动压测量误差越大。皮托管风速与动压测量误差的关系见表 9.6-13。

表 9.6-13 皮托管风速与动压测量误差

风速(m/s)	精度(±%)	风速(m/s)	精度(±%)
20	1.04	4	6.6
15	1.60	3	18.6
10	2.94		

#### 9.4 VAV 变风量箱的十字架式皮托管

VAV 变风量箱的十字架式皮托管如图 9.6-8 所示。



图 9.6-8 带十字交叉式皮托管的 VAV 箱

#### 9.5 VAV 箱风量

VAV 箱风量见表 9.6-14。

表 9.6-14 典型 VAV 箱设计风量

风量序号	标准风量 (m³/h)	入口标准静压 (Pa)	入口最大静压 (Pa)	最大风量 (m³/h)
04	290	250	800	360
05	430	250	800	540
06	680	250	800	850
07	990	250	800	1240
08	1360	250	800	1700
09	1750	250	800	2190
10	1940	250	800	2420
11	2990	250	800	3740
12	3670	250	800	4590

### 10 液位变送器

#### 10.1 液位

液位是指容器内液体介质液面的高低。

#### 10.2 液位变送器种类

##### (1) 浮力式液位变送器

利用漂浮在液面上的浮子来实现测量, 浮子基于阿基米德定理, 把液位转换成为开关触点的闭合和分断信号。

##### (2) 静压式液位变送器

通过测量某点的压力或该点与另一个参考点的压差来间接测量液位。

液体压力与液位高度  $h$  成正比

$$h = \Delta p / \rho g \quad (9.6-22)$$

式中,  $\Delta p$  为与参考点的压差, Pa;  $\rho$  为液体密度, kg/m³;  $g$  为重力加速度, m/s²。

##### (3) 电容式液位变送器

通过测量用液体形成的外径  $R$ 、内径  $r$  同心圆筒式电容器的电容的变化来间接测量液位变化,  $\Delta C$  与液位高度  $h$  成正比

$$\Delta C = 2\pi\epsilon h / \ln(R/r) \quad (9.6-23)$$

式中,  $C$  为电容, F;  $\epsilon$  为液体介电常数, F/m;  $h$  为液位高度, m;  $R$  为外径, m;  $r$  为内径, m。

#### (4) 超声波液位变送器

由于距离等于速度与时间之积, 所以测出超声波发出和反射的往返传播时间, 可测量距离, 即液位高度。

### 11 气体成分变送器

建筑设备监控系统气体成分分析主要指测量空气中的二氧化碳浓度和一氧化碳浓度。

#### 11.1 红外线气体成分分析

##### (1) 工作原理

红外线气体成分分析传感器利用光辐射的选择性吸收原理工作, 一定的物质只能吸收特定波长的光辐射, 称为该物质的特征光谱。

混合气体能吸收红外线的波带与待测成分有关, 能吸收红外线能量的大小与待测成分的浓度有关。

红外线波长范围为 0.76~300μm, 普通空气(氧气、氮气)不吸收 1~25μm 范围的红外线, 但是化合物二氧化碳气体对波长 4.28μm 红外线强烈吸收, 对波长 3.9μm 红外线基本不吸收, 所以用双波长红外线就能测出二氧化碳在空气中的浓度。

##### (2) 朗伯-比尔定理

1760 年德国朗伯 (Heinrich Lambert, 1728—1777) 发现了光的吸收程度与某种均匀物质吸收层厚度关系, 1852 年, 德国比尔 (August Beer, 1825—1863) 证明了朗伯的光吸收定律也适用于溶液的光吸收与溶液浓度的关系, 两个人的研究为比色分析法奠定了基础。朗伯-比尔定理称为光吸收定理: 当一单色光(例如一束红外线)透过某物质的溶液或某混合气体时, 其透射光强与入射光强存在以下关系

$$I = I_0 e^{-KCL} \quad (9.6-24)$$

式中,  $I$  为红外线透射光强 ( $I = \Phi / \Omega$ ,  $\Phi$  为光通量密度, lm;  $\Omega$  为立体角), 坎德拉 cd;  $I_0$  为红外线入射光强, 坎德拉 cd;  $K$  为待测成分溶液或气体的透射光强吸收系数, m⁻¹ ( $K$  为一个基本上与浓度无关的常数, m²/kg;  $C$  为待测成分气体浓度, kg/m³);  $L$  为样气厚度, m; 一个大气压空气的透射光强吸收系数  $K$  为 10⁻³ m⁻¹。

当气体浓度不是很大时, 可以认为  $K$  与  $C$  无关, 这样, 当  $I_0$  和  $L$  一定时, 出射光强是  $C$  的单值函数, 通过检测  $I$ , 可求出  $C$  的大小, 即可得到空气中的二氧化碳或一氧化碳的浓度。

#### 11.2 电化学气体成分分析

电化学气体成分分析传感器随待测气体浓度的变化而产生不同的电动势, 即不同浓度状态的交界处会形成不同的电压, 因此可以测量出利用外加电压来产生随浓度变化的电流, 可以得到待测气体浓度。

#### 11.3 二氧化碳浓度变送器产品 C7232

二氧化碳浓度变送器产品 C7232 如图 9.6-9 所示。

##### (1) 概述

变送器用于测量空间 (C7232A) 和管道 (C7232B) 中

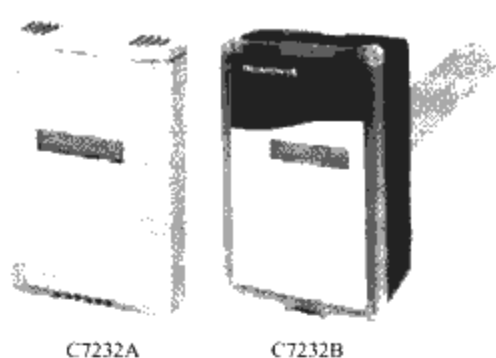


图 9.6-9 Honeywell C7332 二氧化碳浓度变送器

的二氧化碳浓度,从而控制通风和空调系统中的新风量,以保持二氧化碳浓度在可以接受的水平。

1) 采用 NDIR (NonDiffusion InfraRed) 非色散红外技术检测二氧化碳浓度。

2) 传感器镀金,校准长期稳定。

3) 根据二氧化碳浓度变化,输出正比例的直流电气信号。

4) 提供继电器触点输出。

(2) 性能参数 (见表 9.6-15)

表 9.6-15 二氧化碳浓度变送器 C7232 系列技术性能

项 目	技术参数
工作原理	NDIR 非色散红外技术
响应时间 (s)	120
采样	气流扩散
范围 ( $10^{-6}$ )	0~2000
精度	$\pm 5\%$ 和 $\pm 50 \times 10^{-6}$
年漂移 ( $10^{-6}$ )	20
电源	24V AC $\pm 20\%$ , 50Hz
耗电 (W)	3
输出 (相应 $50 \sim 1500 \times 10^{-6}$ )	0/2~10V DC, 4~20mA
继电器触点输出 (出厂设定 $800 \times 10^{-6}$ 闭合)	1A, 50V AC/24V DC
对大气压力依赖性	100kPa 偏差 1kPa 时, 读数改变 1.4%

#### 11.4 一氧化碳浓度变送器产品 CMD

一氧化碳浓度变送器产品 CMD 如图 9.6-10 所示。

(1) 概述

变送器用于测量空间中的一氧化碳浓度,从而控制通风和空调系统中的新风量,以保持一氧化碳浓度在可以接受的水平。



图 9.6-10 Greystone 公司 CMD 一氧化碳浓度变送器

1) 采用电化学式传感器模式,利用一氧化碳在电解质池工作电极上化学氧化过程所产生的电流大小与一氧化碳浓度成正比,来确定一氧化碳的浓度。

2) 两种浓度可选,以提高测量准确度。

3) 根据一氧化碳浓度变化,输出正比例的直流电气信号。

4) 提供继电器触点输出。

(2) 性能参数 (见表 9.6-16)

表 9.6-16 一氧化碳浓度变送器 CMD 系列技术性能

项 目	技术参数
工作原理	电化学化学反应
响应时间 (s)	预热 200, 响应 30
采 样	气流扩散或通过管道式采集管
范围 1 ( $10^{-6}$ )	0~300
精度 1 (%)	7
范围 2 ( $10^{-6}$ )	0~500
精度 2 (%)	3
年漂移 (%)	5
电源	20~30V AC 或 V DC
耗电 (W)	3
输出 (相应 $50 \sim 1500 \times 10^{-6}$ )	0/2~10V DC, 4~20mA
继电器触点输出 (出厂设定 $800 \times 10^{-6}$ 闭合)	5A, 250V AC/30V DC

#### 11.5 室内空气品质

(1) 概述

美国暖通空调工程师协会标准 ASHRAE Standard 62-1999 规定合格的室内空气品质 IAQ (Indoor Air Quality) 为:没有已知污染物达到权威机构认定危害人体健康的浓度的空气,并且处于该空气中绝大多数人 (80%以上) 对此没有表示不满意。

保证良好的 IAQ,是通过建筑设备监控系统监控的空调系统、送风系统、排风系统控制室内空气中的二氧化碳浓度、一氧化碳浓度,使其达到设计要求。

(2) 二氧化碳浓度规定 (ASHRAE Standard 62-1999)

美国环保署规定学校和居民住宅空气二氧化碳持续的最大浓度为  $1000 \times 10^{-6}$  ( $1.8 \text{g/m}^3$ )。

(3) 一氧化碳浓度规定

美国环保署制定新风空气质量的国家一级标准规定一氧化碳浓度标准,8h 最大浓度为  $9 \times 10^{-6}$  ( $10 \text{mg/m}^3$ ), 1h 为  $35 \times 10^{-6}$  ( $40 \text{mg/m}^3$ )。

(4) 国家标准《智能建筑设计规范》(GB/T 50314-2006) 规定的空气质量标准 (见表 9.6-17)

表 9.6-17 GB/T 50314-2006 规定的空气质量指标

一氧化碳含量率 ( $10^{-6}$ )	$<10$
二氧化碳含量率 ( $10^{-6}$ )	$<1000$
温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	冬天 18~24, 夏天 22~28
湿度 (%)	冬天 30~60, 夏天 40~65
气流 (m/s)	冬天小于 0.2, 夏天小于 0.3

#### 12 执行器

##### 12.1 概述

广义的执行器包括执行结构和调节机构。执行器是建筑



设备监控系统的执行部件,接收来自控制器的控制信号  $u$  (控制量),自动改变操作量  $q$ ,控制调节阀、风阀等调节结构所流过的介质流量,使被控量  $y$  达到和维持在期望值的范围。执行器直接影响系统的正常工作。本章所说的执行器则是专指执行机构而言,这些执行机构是调节机构的驱动设备,英文称为 Actuator。建筑设备监控系统的调节机构主要有调节阀和风阀,它们是机械设备,虽然这些调节机构也属于执行器的范畴,但是为了叙述方便,本章的执行器是指执行机构(见图 9.6-11)。



图 9.6-11 执行器（执行机构+调节机构）工作框图

## 12.2 执行器种类

### (1) 气动执行器

以压缩空气为能源的执行机构,建筑设备监控系统现在已经不常用到,除非建筑环境有防爆要求。

### (2) 电动执行器

以电源作为能源的执行机构,建筑设备监控系统主要使用这种执行机构。这些机构根据控制器输出的电气信号,转换为位移信号去驱动和控制调节机构的位移,完成控制任务。根据电动这些机构的位移信号完成调节任务的设备就是调节机构。

### (3) 电动执行器的分类

电动执行器输入信号都是 0~10V DC 或 4~20mA DC 标准信号,但是按照输出位移信号不同分为角行程和直行程两种执行器。虽然两种执行器都是使用电动机驱动,电气原理和电路相同,但是输出的机械传动部分不同,因而用途不同。

1) 角行程(见图 9.6-12)。输出是转角位移信号 0~90°,转矩单位是 N·m,用于驱动蝶阀、球阀和风阀。

2) 直行程(见图 9.6-13)。输出是直行程位移信号 0~20mm 或 0~40mm,推力单位是 N,用于驱动调节阀。



图 9.6-12 角行程风阀执行器

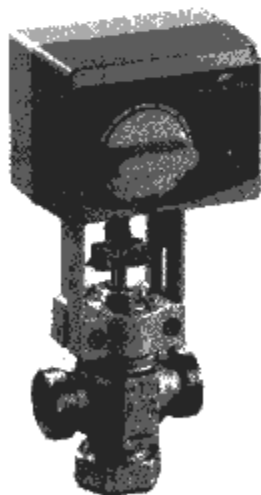


图 9.6-13 直行程调节阀执行器

## 13 调节阀

### 13.1 概述

控制液体流动的调节机构习惯上称为调节阀,是一个可

变阻力的节流元件。通过阀芯在阀体内的运动,改变了阀芯与阀体之间的流通面积,从而改变了被调介质的流量,达到自动调节工艺参数的目的。

### 13.2 工作原理

通过阀体的流体遵守质量守恒和能量守恒,由伯努利定理可以得出对不可压缩流体而言,流经调节阀阻力形成的局部水头损失  $h$  (m) 时的速度与局部压头损失(阀前阀后压差  $p_1 - p_2$ ) 的关系为

$$h = \xi v^2 / 2g = (p_1 - p_2) / \rho g \quad (9.6-25)$$

式中,  $h$  为阀体局部水头损失, m;  $\xi$  为调节阀阻力系数,均为针对某一过流断面上的流体平均流速而言,  $l$ ;  $v$  为流过调节阀的流体平均速度, m/s;  $g$  为重力加速度, m/s<sup>2</sup>;  $p_1$  为阀前压力, Pa;  $p_2$  为阀后压力, Pa;  $\rho$  为流体密度, kg/m<sup>3</sup>;

如果接管截面积为  $A$ , m<sup>2</sup>; 流体体积流量为  $Q$ , m<sup>3</sup>/s; 则

$$v = Q / A \quad (9.6-26)$$

可以推出

$$Q = vA = \frac{A}{\sqrt{\xi}} \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho} = A \sqrt{2\Delta p / \xi \rho} \quad (9.6-27)$$

理想流量特性是调节阀口径不变( $A$  不变)、 $\rho$  不变、 $\Delta p$  不变(阀前阀后压差不变),体积流量只与调节阀阻力系数的变化相关,因此移动阀芯,调节阀开度改变,阻力系数  $\xi$  发生变化,从而改变了体积流量  $q_v$ 。但是实际工作情况是  $\Delta p$  发生变化(阀前阀后压差不断变化),这种流量特性称为调节阀工作流量特性。

### 13.3 调节阀理想流量特性

调节阀理想流量特性是指阀前阀后压差保持不变时的流量特性。

调节阀理想流量特性与阀芯形状有关,分成快开特性、线性流量特性、等百分比流量特性等不同的调节阀。用  $Q/Q_{\max}$  表示调节阀相对流量,  $L/L_{\max}$  表示调节阀相对开度( $\xi$  不同),三种流量特性的调节阀的工作流量特性图,见图 9.6-14 和表 9.6-18。

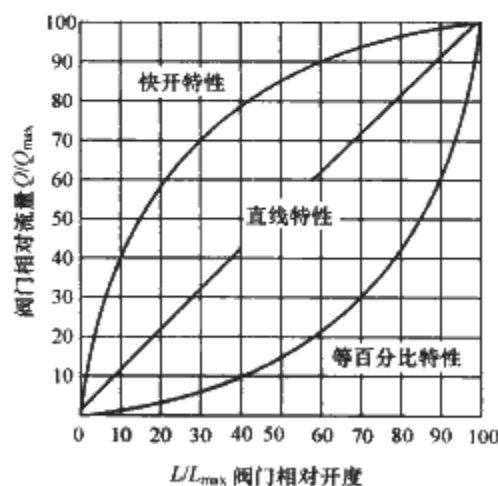


图 9.6-14 调节阀三种流量特性

#### (1) 线性调节阀理想流量特性

线性调节阀的相对流量与相对开度成直线关系,见式(9.6-28)

$$k = \frac{d \frac{Q}{Q_{\max}}}{d \frac{L}{L_{\max}}} \quad (9.6-28)$$

对式(9.6-28)作积分运算

$$\int d \frac{Q}{Q_{\max}} = \int k d \frac{l}{l_{\max}}$$

$$\text{得到} \quad \frac{Q}{Q_{\max}} = k \frac{l}{l_{\max}} + C \quad (9.6-29)$$

式中,  $C$  为积分常数。

代入边界条件

$$l=0 \text{ 时, 有 } Q=Q_{\min}$$

$$l=l_{\max} \text{ 时, 有 } Q=Q_{\max}$$

求出各个常数

$$C = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

$$k = 1 - \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = \left(1 - \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}\right) \frac{l}{l_{\max}} + \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

即

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{1}{R} \left[1 + (R-1) \frac{l}{l_{\max}}\right] \quad (9.6-30)$$

式中,  $R$  为可调比, 即调节阀所能控制的最大流量与最小流量之比

$$R = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \quad (9.6-31)$$

式中,  $Q_{\max}$  是最大流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $Q_{\min}$  是最小流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

调节阀的可调量的下限值  $Q_{\min}$  并不等于调节阀全关时的泄漏量。一般最小可调流量为最大流量的 2%~4%, 而泄漏量仅为最大流量的 0.1%~0.01%。

调节阀工作时, 希望它的最小可调流量不小于 10%, 因为小开度时, 流体对阀芯、阀座的冲蚀作用较严重, 容易损坏阀芯而使流量特性变坏, 严重的甚至使调节阀失灵。

线性调节阀的单位行程变化所引起的流量变化是相等的, 也就是说在调节阀的全行程内其放大系数(曲线斜率)是一个定值, 在变化相同行程的情况下, 流量小时, 流量相对值变化大, 即  $\Delta Q/Q$  大, 而流量大时, 流量相对值变化小。说明线性调节阀在小开度时, 放大系数大, 控制作用很强, 易使系统产生振荡。

如以全行程的 10%、50%、80% 三点来看, 取行程变化均为 10%, 则流量分别为 13%、51.7% 和 80.7% (见表 9.6-18), 虽然流量变化总是相等 (9.7%), 但是引起的相对流量变化的相对值不同, 分别为

$$\frac{13.0-3.3}{13.0} \times 100\% = \frac{9.7}{13.0} \times 100\% = 74.6\%$$

$$\frac{51.7-42}{51.7} \times 100\% = \frac{9.7}{51.7} \times 100\% = 18.7\%$$

$$\frac{80.7-71}{80.7} \times 100\% = \frac{9.7}{80.7} \times 100\% = 12.0\%$$

## (2) 等百分比阀理想流量特性

等百分比阀具有对数流量特性, 单位相对行程变化引起的相对流量变化与此点的相对流量成正比关系, 见下式

$$k \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{d \frac{Q}{Q_{\max}}}{d \frac{l}{l_{\max}}} \quad (9.6-32)$$

式(9.6-32)交叉相乘, 进行积分运算

$$\int \left(\frac{Q}{Q_{\max}}\right)^{-1} d \frac{Q}{Q_{\max}} = \int k d \frac{l}{l_{\max}}$$

$$\text{得到} \quad \ln \frac{Q}{Q_{\max}} = k \frac{l}{l_{\max}} + C \quad (9.6-33)$$

代入边界条件

$$l=0 \text{ 时, 有 } Q=Q_{\min}$$

$$l=l_{\max} \text{ 时, 有 } Q=Q_{\max}$$

求出各个常数

$$C = \ln \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

$$k = -\ln \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

$$\ln \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = -\left(\ln \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}\right) \frac{l}{l_{\max}} + \ln \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

$$= \ln \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \left(\frac{l}{l_{\max}} - 1\right)$$

$$\text{因为} \quad R = Q_{\max}/Q_{\min}$$

$$\text{所以} \quad \ln \frac{Q}{Q_{\max}} = \left(\frac{l}{l_{\max}} - 1\right) \ln R$$

$$\text{得到} \quad \frac{Q}{Q_{\max}} = R^{\left(\frac{l}{l_{\max}} - 1\right)} \quad (9.6-34)$$

等百分比流量特性调节阀的放大系数(曲线斜率)是随行程增大而递增的, 在低负荷时(小开度)流量变化小, 高负荷时(大开度)流量变化大。因此, 这种调节阀在接近全关时, 工作缓和, 接近全开时, 放大作用大, 工作灵敏有效, 它适用于负荷变化大的系统中。

如以全行程的 10%、50%、80% 三点来看, 取行程变化均为 10%, 则流量为 4.67%、18.3% 和 50.8% (见表 9.6-18), 虽然引起的流量变化不同, 分别为 1.91%、7.3% 和 20.4%, 但是流量变化的相对值相等, 均为 40%

$$\frac{6.58-4.67}{4.67} \times 100\% = \frac{1.91}{4.67} \times 100\% = 40\%$$

$$\frac{25.6-18.3}{18.3} \times 100\% = \frac{7.3}{18.3} \times 100\% = 40\%$$

$$\frac{71.2-50.8}{50.8} \times 100\% = \frac{20.4}{50.8} \times 100\% = 40\%$$

## (3) 快开阀

快开阀在调节阀行程较小时, 流量就比较大, 随着行程的加大, 流量很快就达到最大。因此称为快开阀(见表 9.6-18)。快开阀主要用于双位调节(开关阀)。

表 9.6-18 相对开度和相对流量

相对流量 ( $\frac{Q}{Q_{\max}}$ )	相对开度 ( $\frac{l}{l_{\max}}$ )									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100
线性阀	3.3	13.0	22.7	32.3	42.0	51.7	61.3	71.0	80.7	100
等百分比阀	3.3	4.67	6.58	9.26	13.0	18.3	25.6	36.2	50.8	100
快开阀	3.3	21.7	38.1	52.6	65.2	75.8	84.5	91.3	96.13	100

## 13.4 调节阀权度系数 $S$

由于调节阀是装在具有阻力的管道上, 当阀门开度增加时, 流量加大, 但是, 外部管道和空调设备的压差随着流量的加大也加大, 会使阀门前后压差  $\Delta p$  减少, 引起阀门流量特性与阀前后压差  $\Delta p$  保持不变的理想流量特性不同, 称为工作流量特性。图 9.6-15 中的  $\Delta p_B$  是支路的供回水压差(系统总压差)。

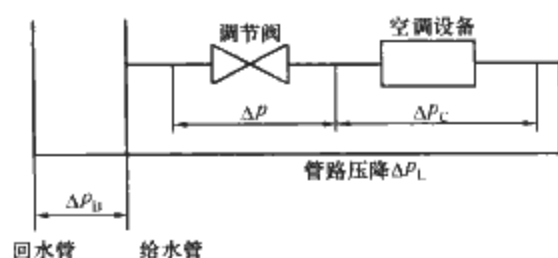


图 9.6-15 阀前阀后压差  $\Delta p$  与总压差  $\Delta p_B$

如果阀门压差  $\Delta p$  所占支路供回水压差  $\Delta p_B$  比例越大，阀门工作流量特性会越接近阀门理想流量特性，全开时，阀门前后压差  $\Delta p$  与系统总压差  $\Delta p_B$  的比值称为阀门权度系数  $S$ （有时也称为阀门能力）

$$S = \Delta p / (\Delta p + \Delta p_C + \Delta p_L) \\ = \Delta p / \Delta p_B \quad (9.6-35)$$

式中， $\Delta p$  为调节阀全开时阀前阀后压差，Pa； $\Delta p_C$  为空调设备压差，Pa； $\Delta p_L$  为管道压差，Pa； $\Delta p_B$  为支路供回水压差，即调节阀关闭时的阀前阀后压差，Pa。

$S$  值越大，系统调节品质越好，工程中， $S$  可以取为 0.5 或更大，至少应该大于 0.3。

当  $S=1$  时，系统的总压差  $\Delta p_B$  全部降落在调节阀上，调节阀的工作流量特性与理想流量特性完全一致。但是随着流量增加引起管道阻力损失增加，系统总压差降落在管道和空调设备上的压差部分增加，使调节阀压差减小，导致调节阀的流量减小，因此流量特性发生畸变（见图 9.6-17），成为一系列向上拱的曲线，理想的线性流量特性趋向快开流量特性，理想的等百分比流量特性趋向线性流量特性，而且， $S$  值越小，工作流量特性偏离理想流量特性越严重，使阀门小开度时放大系数增大，大开度时阀门放大系数减小，使调节阀小开度时控制不稳定，大开度时控制不灵敏，从而影响了自动控制系统的调节品质（见表 9.6-19）。

表 9.6-19 阀门权度系数  $S$  与阀门流量特性

系统配置状态 $S$	1~0.6		0.6~0.3		0.3
所选阀门理想流量特性	线性	等百分比	线性	等百分比	不适宜调节
阀门实际工作流量特性	线性	等百分比	趋近快开	趋近线性	

图 9.6-16 中的  $Q_{\max}$ ，表示管道和空调设备阻力为零时，调节阀的全开流量。以  $Q_{\max}$  为参考值的流量  $Q$ ，表示为  $Q/Q_{\max}$ 。 $L/L_{\max}$  表示以阀门全开为参考值的阀门相对开度。

图 9.6-17 中的  $Q_{100}$ ，表示存在管道和空调设备阻力时，调节阀的全开流量。以  $Q_{100}$  为参考值的流量  $Q$ ，表示为  $Q/Q_{100}$ 。 $L/L_{\max}$  表示以阀门全开为参考值的阀门相对开度。

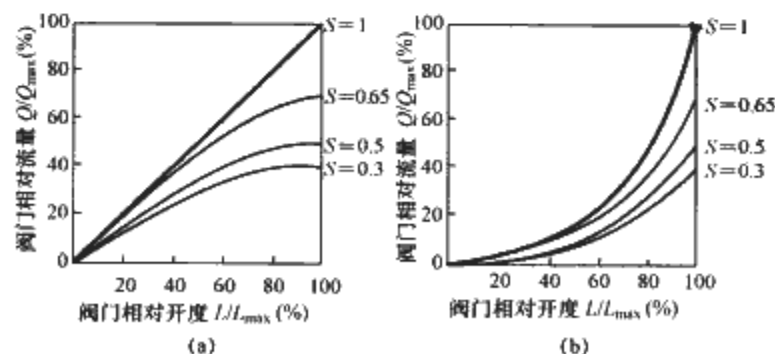


图 9.6-16  $S$  对串联管道调节阀  $Q/Q_{\max}$  相对流量特性的影响

(a) 线性阀工作流量特性；(b) 等百分比阀工作流量特性

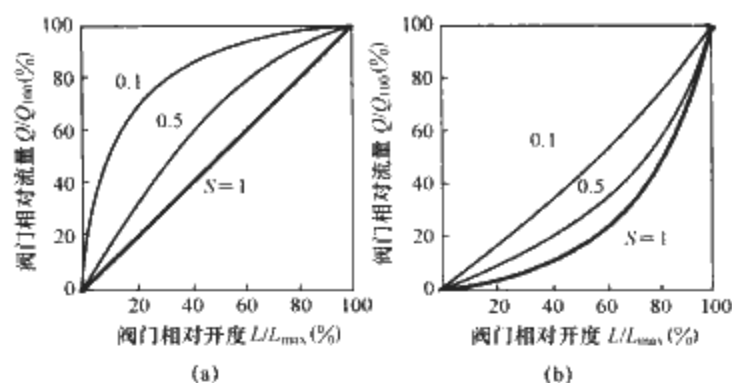


图 9.6-17  $S$  对串联管道调节阀  $Q/Q_{100}$  相对流量特性的影响

(a) 线性阀工作流量特性；(b) 等百分比阀工作流量特性

### 13.5 调节阀按照机械结构分类

(1) 蝶阀调节阀（见图 9.6-18）

蝶阀是旋转阀，利用蝶形阀芯产生角位移（ $0^\circ \sim 90^\circ$ ）来开启或关闭阀门。

(2) 球阀调节阀（见图 9.6-19）

球阀是旋转阀，利用球形阀芯产生角位移（ $0^\circ \sim 90^\circ$ ）来开启或关闭阀门。

(3) 直行程调节阀（见图 9.6-20）

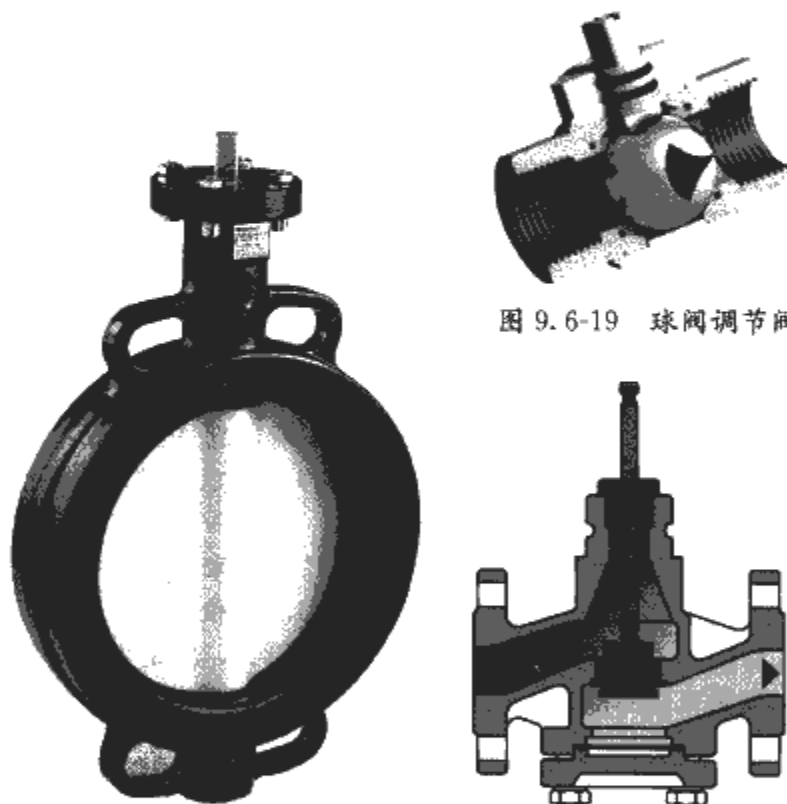


图 9.6-19 球阀调节阀

图 9.6-18 蝶阀调节阀

图 9.6-20 直行程调节阀

直行程调节阀是直动阀，利用 V 形、桶形、异形等不同形状的阀芯产生直位移（例如 20mm 或 40mm 等）来开启或关闭阀门，调节流体流量。

### 13.6 调节阀按照流体流通方向分类

(1) 直通阀（二通阀）（见图 9.6-21）

直通阀有两个口与管道连接，安装时应注意流体流通方向是否与直通阀规定流通方向一致。

(2) 三通阀（见图 9.6-22）

三通阀有三个口与管道连接，安装时应注意流体流通方向是否与三通阀规定流通方向一致（合流与分流不同）。

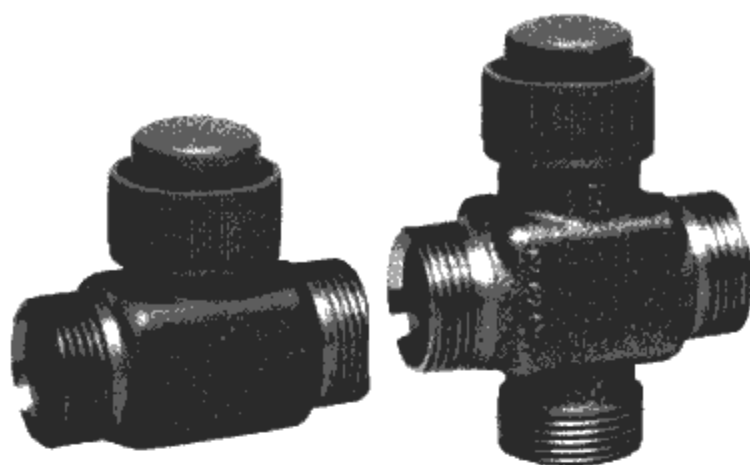


图 9.6-21 直通阀



图 9.6-22 三通阀

### 13.7 调节阀按照流量特性分类

空调温度调节系统要求系统开环总放大系数  $K$  保持不变, 室温升高, 要求按照比例输入冷量, 即控制系统各个环节放大系数之积保持常数。控制系统包括控制器、执行器、调节阀、加热器 (或冷却器) 等环节, 一般情况下, 控制器放大系数经过整定基本不变, 如果通过改变调节阀的放大系数的变化来弥补加热器的放大系数的变化, 使之保持不变 (成为线性函数), 就可以得到理想的调节效果。因此要求考虑调节阀流量特性 (调节阀放大系数) 与加热器 (或冷却器) 升温特性 (加热器放大系数) 的配合, 所以, 应该按照阀门流量特性分类, 以便选择不同阀门, 通过改变阀门的放大系数使系统的总放大系数保持不变。如果热水加热器放大系数随负荷增加而减少, 所以需要类似等百分比流量特性的阀门作配合, 如果蒸气加热器特性是线性时, 则选择线性流量特性的阀门作配合。

此外, 通过选择不同流量特性的阀门来适应系统负荷特性不同的系统, 当系统负荷变化幅度大时或者调节阀经常处于小开度工作时, 应该选择等百分比流量特性阀, 以利于微调, 不易引起振荡。当系统很稳定, 阀位移动范围较小, 阀的流量特性对系统影响不大时, 可以选择线性流量特性阀或等百分比流量特性阀。

总的来说, 调节阀在流量调节功能方面, 可以分成用于流量调节和热量调节两种不同应用。用于流量调节, 可以考虑采用线性阀, 例如冷水站分水器与集水器之间的为了稳定供回水压差安装的流量平衡阀, 旁通一些空调系统减少或增加的冷冻水流量, 使冷冻水泵的输出流量保持不变, 以稳定水泵的扬程, 从而使供回水压差不变; 用于热量调节, 应该考虑采用等百分比阀, 例如空调机组中的热水盘管使用的空调热水流量调节阀, 因为需要用调节阀的非线性流量特性来弥补热水盘管的传热非线性传热特性, 最终构成调节阀行程与热量传递之间的线性调节关系, 以提高控制系统的调节品质。

#### (1) 等百分比阀 (见图 9.6-23~图 9.6-25)

适用于空调水调节阀, 尤其是热水调节阀。因为空调机的加热器 (盘管) 传热特性与等百分比流量特性调节阀组合在一起, 可以得到直线性的热传输特性, 有最好的调节特性, 即加热器的温升与调节阀的开度成正比例, 是线性函数。

#### (2) 线性阀

适用于空调系统的蒸气调节阀或冷冻水供回水压差旁通调节阀。

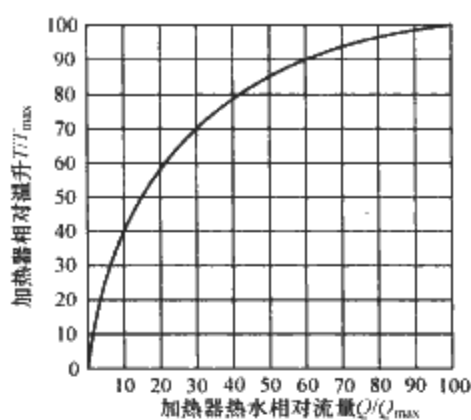


图 9.6-23 加热器相对温升—加热器相对热水流量静态特性

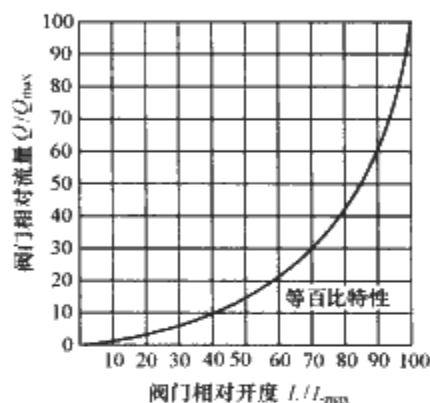


图 9.6-24 调节阀相对流量—阀门相对开度等百分比流量特性图

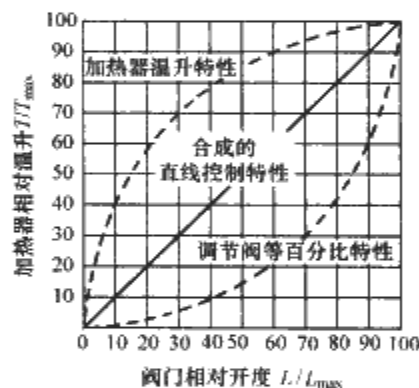


图 9.6-25 合成的加热器相对温升—调节阀相对开度线性控制关系

### 13.8 调节阀流通能力计算

调节阀的流通能力直接反映阀的流通容量, 是设计和使用的主要参数。在过程设计中, 为了合理确定调节阀的口径, 应该正确计算流通能力, 否则会使调节阀口径过大或过小, 如果口径过大, 不仅浪费投资, 而且调节阀常处于小开度位置, 引起系统不稳定, 使系统调节品质变坏。反之, 口径过小, 阀门阻力过大, 即使阀门全开, 也不能达到设计流量, 不能适应最大负荷的需要, 造成系统水力失调。

#### (1) 空调水调节阀流通能力 $K_v$ (流量系数)

当调节阀全开时, 阀前阀后压差  $\Delta p$  为 100kPa, 水密度为 1000kg/m<sup>3</sup>, 此时, 每小时流经调节阀的水体积流量  $Q$  的数值, 称为调节阀的流通能力  $K_v$  以 m<sup>3</sup>/h 为单位。

#### (2) 水阀流通能力计算公式

根据式 (9.6-27)

$$Q = vA = \frac{A}{\sqrt{\xi}} \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho} = A \sqrt{2\Delta p/\xi_p}$$

令  $K_v = A \sqrt{2/\xi_p}$

则  $Q = K_v \sqrt{\Delta p}$ , 当  $\rho = 1000\text{kg/m}^3$  (水的密度), 可得

$$K_v = 316Q / \sqrt{\Delta p} \quad (9.6-36)$$

式中,  $K_v$  为空调水调节阀流通能力 (流量系数),  $l$ ;  $Q$  为空调水体积流量,  $m^3/h$ ;  $\Delta p$  为阀前阀后压差,  $Pa$ 。

计算  $K_v$  时, 需要知道空调水的最大流量  $Q$  和调节阀全开时的阀前阀后压差  $\Delta p$ 。如果考虑调节阀权度系数  $S=0.5$  的规定, 可知  $\Delta p$  应该大于或至少等于加热器盘管或表冷器盘管的空调水压差  $\Delta p_c$ 。如果不知道  $\Delta p_c$ , 可以假设  $\Delta p_c = 30 \sim 50 kPa$  (即  $\Delta p$  为  $30 \sim 50 kPa$ )。关于表冷器空调水压差  $\Delta p_c$  的数值和空调冷冻水流量  $Q$  的数据, 可以参考表 9.6-20, 表中水流量单位为  $L/s$ , 换算为  $m^3/h$ , 需乘以 3.6。同时, 需要注意, 不同公司产品, 冷冻水流量都相同, 均为  $Q=0.172\ 25R$ , 其中  $Q (m^3/h)$  为空调机组冷冻水流量,  $R (kW)$  为空调机组全热交换量, 但是盘管压差  $\Delta p_c$  数据可能相差很大。

$$1L/s = 3.6m^3/h \quad (9.6-37)$$

表 9.6-20 Trane 公司 CLCP 空调机组系列技术参数

风量 ( $m^3/h$ )	4 排盘管			6 排盘管			8 排盘管		
	全热 ( $kW$ )	流量 $Q$ ( $L/s$ )	$\Delta p_c$ ( $kPa$ )	全热 ( $kW$ )	流量 $Q$ ( $L/s$ )	$\Delta p_c$ ( $kPa$ )	全热 ( $kW$ )	流量 $Q$ ( $L/s$ )	$\Delta p_c$ ( $kPa$ )
11 000	57.20	2.73	11.1	78.41	3.74	25.6	92.09	4.39	41.9
16 000	81.83	3.90	11.5	112.48	5.36	26.7	132.52	6.32	44.2
23 000	129.65	6.18	32.6	171.52	8.18	72.0	182.70	8.71	26.3
34 000	190.99	9.10	36.3	252.89	12.06	79.4	269.50	12.85	22.1
50 000	296.34	14.13	42.8	356.06	16.97	43.9	417.83	19.92	60.3
100 000	575.49	27.43	80.5	682.88	24.40	89.8	767.10	24.20	89.7

回风干球/湿球温度: 27/19.5℃ 冷冻水进出水温度: 7/12℃

英制调节阀的流通能力 (流量系数) 称为  $C_v$ , 定义为调节阀全开时, 阀前阀后压差  $\Delta p$  为  $1psi$  (每平方英寸磅力), 每分钟流经调节阀的以加仑为单位的水体积流量  $Q$  的数值。 $C_v$  约比  $K_v$  大 16.7%, 即  $C_v=1.167K_v$ , 如果  $Q$  以  $m^3/h$  为单位, 压差  $\Delta p$  以  $Pa$  为单位, 则  $C_v=369Q/\sqrt{\Delta p}$ 。

(3) 饱和蒸汽阀流通能力  $K_v$  计算公式

$$K_v = Q / 0.224 \sqrt{\Delta p p_0} \quad (9.6-38)$$

式中,  $Q$  为饱和蒸汽流量,  $kg/h$ ; 0.224 为比例尺常数;  $\Delta p = p_1 - p_2$ , 为阀门全开时前后压降,  $kPa$ ;  $\Delta p_c = 50\% \times p_1$ , 为阀门全开时前后临界压降,  $kPa$ ;  $p_0$  为出口绝对压力 ( $p_1 - \Delta p$ ),  $kPa$ ;  $p_1$  为上游供汽绝对压力,  $kPa$ ;  $p_2$  为返回蒸汽绝对压力,  $kPa$ 。

注: \* 对蒸汽调节阀, 可假设压力损失比为 80%, 即取  $\Delta p = 80\% \times (p_1 - p_2)$ , 但当  $\Delta p$  大于压力损失比为 50% 的临界压降  $\Delta p_c$  时, 则以  $\Delta p_c$  取代  $\Delta p$  进行计算, 即在  $\Delta p$  和  $\Delta p_c$  两者中, 取数值较小者进行计算, 以使  $K_v$  较大, 因而最终选择的蒸汽阀口径较大。

(4) 流通能力  $K_v$  与调节阀通径 DN 的关系

1) 公称通径 DN。公称通径 DN (Nominal Diameter), 是管路系统中所有管路附件用数字表示的尺寸, 公称通径是供参考用的一个方便的圆整数, 与加工尺寸仅呈不严格的关系。公称通径用字母 “DN” 后面紧跟一个数字标志, 又称平均外径 (mean outside diameter), 这是缘自金属管的管壁很薄, 管外径与管内径相差无几, 所以取管的外径与管的内径之平均值当作管径称呼。DN 就是各种管子与管路附件的通用口径。同一公称直径的管子与管路附件均能相互连接, 具有互换性。它不是实际意义上的管道外径或内径, 虽然其

数值跟管道内径较为接近或相等。

钢管外径系列分为国际通用系列 (大外径系列, 大  $\phi$ ) 英制管; 国内常用系列 (小外径系列, 小  $\phi$ ) 公制管 (或米制管)。管道外径与 DN 对照见表 9.6-21。

表 9.6-21 工艺管道公称通径 DN 与钢管外径  $\phi$  对照表 单位: mm

DN 通径	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125
大 $\phi$	22	27	34	42	48	60	76	89	114	140
小 $\phi$	18	25	32	38	45	57	73	89	108	133

DN 通径	150	200	250	300	350	400	450	500	600
大 $\phi$	168	219	273	324	356	406	457	508	610
小 $\phi$	159	219	273	325	377	426	480	530	630

2) 调节阀通径 DN 与流通能力  $K_v$  (见表 9.6-22、表 9.6-23)。

表 9.6-22 直行程调节阀公称通径 DN 与流通能力  $K_v$  关系

阀门通径 DN (mm)	20	25	32	40	50	65	80	125	150
流通能力 $K_v$	4.0	10	16	25	40	63	100	250	360

表 9.6-23 蝶阀公称通径 DN、旋转角度与流通能力  $K_v$  关系

口径 DN (mm)	不同旋转角度时的流通能力 $K_v$								
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
50	0	1.1	4	12	22	35	45	51	52
65	0	1.2	5	18	38	64	93	119	131
80	0.6	1.3	7	25	58	99	151	202	227
100	1.5	13	42	93	170	275	400	509	560
125	3	28	86	178	313	501	720	904	987
150	3	41	125	255	441	701	1003	1254	1367
200	5	73	207	389	650	1029	1517	2063	2504
250	8	115	312	564	921	1457	2185	3113	3977
300	10	166	440	778	1254	1981	3004	4402	5785
350	65	294	667	1212	1905	2944	4848	6840	8658
400	87	381	866	1558	2424	3896	6407	9351	11 255
450	113	494	1126	1991	3117	5022	8312	12 987	15 584
500	130	615	1385	2511	3983	6234	10 390	15 931	19 048
600	190	866	1991	3463	5541	8658	14 286	22 424	25 974
750	294	1299	3117	5368	8571	13 853	22 511	36 797	40 693
900	433	2251	4502	7879	12 987	19 913	32 900	56 277	60 606

(5) 经验方法确定调节阀通径 DN

当无法通过流通能力  $K_v$  计算来选择调节阀口径时, 调节阀公称通径 DN 也可按实践经验法确定, 但经验法的前提是必须保证工艺管道设计正确合理, 如果工艺管道设计正确合理 (这点非常重要!), 通常可以认为:

1) 液体介质的调节阀通径比工艺管道的通径小一级或小于二级。小于二级 (或更多) 时, 应由空调工程技术人员确认。

2) 蒸汽介质的调节阀通径比工艺管道的通径小二级。



## (6) 调节阀的校验

1) 阀门开度为 90% 时, 应满足运行的最大需要量。开度为 10% 时, 应满足运行的最小需要量。

2) 阀门压差, 对泄漏量无特殊要求时, 宜取最小流量下的最大差压, 其值应不大于该阀门闭合时的最大允许压差。

3) 调节阀的工作流量特性, 应满足工艺系统的调节要求。

## (7) 调节阀、电动蝶阀的公称压力 PN

公称压力 PN 是一个用数字表示的与压力有关的标示代号, 是供参考的一个方便的圆整数。同一公称压力 PN 值所标示的同一公称通径 DN 的所有管路附件具有与端部连接形式相适应的同一连接尺寸。不同的公称压力, 同样的公称通径 DN 的调节阀, 其阀门的轴向尺寸可能不同。

在介质温度 200℃ 以下时, 公称压力 PN 就是调节阀的最大工作压力, 即调节阀在工作状态时的可以承受的最大压力。PN 单位是 “0.1MPa” (100kPa, bar)。PN16 表示该调节阀最大流体介质工作压力为 1.6MPa, 即 16bar (16.3 工程大气压、15.8 标准大气压)。最大工作压力包括建筑高度形成的水的静压与水泵扬程形成的动压, 例如, PN16 表示阀门最大工作压力为 1.6MPa, 水泵的扬程如果是 40m, 即 0.4MPa, 建筑物高度在不超过 120m (水的静态压力是 1.2MPa) 时, 阀门可以正常工作。

阀门的每个零部件的制造都应该依照各种国际标准, 以保证质量和互换性。

不仅要关心调节阀工作压力 PN 有多大, 而且还要考虑不同公称压力 PN 的调节阀的法兰之间的长度。因为虽然调节阀公称通径 DN 相同, 但是它们法兰之间的尺寸却因为 PN 不同而不同, 同时, 还要注意有三种机构长度调节阀, 所谓短系列、中系列和长系列, 所以工程中一定要小心处理。因此图纸标出每一个调节阀的公称压力 PN 是很重要的事情, 只有公称压力 PN 相同的调节阀, 而且 “长” “中” “短” 系列相同, 在公称通径 DN 相同时, 才能互换; 必须查看每个调节阀说明书的外形尺寸和安装尺寸。

不同种类的阀门, 例如闸阀、截止阀、球阀、旋塞阀、蝶阀、调节阀等, 同样的公称通径 DN, 其法兰连接的结构长度及其他结构尺寸也都不尽相同。

13.9 调节阀可调比 R 与调节阀流通能力  $K_v$ 

调节阀的最大流量 (阀门全开) 对最小可控流量之比, 称为调节阀可调比 R (Rangeability),  $R = Q_{\max}/Q_{\min}$ 。最小可控流量指该调节阀流量特性依然有效的最小流量值。可调比 R 也称为 “调节阀调节范围”。通常, V 型阀芯调节阀的可调比 R 为 50, 异型塞调节阀的可调比 R 为 30。

有的调节阀产品供应商, 把调节阀流通能力 (流量系数)  $K_v$  分成两种, 一个称为  $K_{vs}$ , 定义为调节阀阀门全开、前后压差  $\Delta p$  为 100kPa 时的流量值 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $K_v = 316Q/\sqrt{\Delta p}$ ; 另一个称为  $K_{vr}$ , 定义为调节阀阀门流量特性依然有效、前后压差  $\Delta p$  为 100kPa 时的最小流量值 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ); 此时, 调节阀可调比 R 可以表达为

$$R = K_{vs}/K_{vr}$$

## 13.10 调节阀通径与执行器推力/扭矩

调节阀口径越大, 关阀时, 所需要的执行器推力或执行器扭矩也越大 (见表 9.6-24), 具体数据与关阀时调节阀承受的压力, 即阀前阀后压差有关。调节阀所关断的压力是该

调节阀所位于的空调水支路的最大供水和回水压差  $\Delta p_B$  (调节阀关闭时的压差)。

表 9.6-24 Honeywell 公司调节阀通径 DN 与执行器推力关系

执行器	ML7420A								ML7421B			
推力 (N)	600								1800			
行程 (mm)	20								38			
阀门 DN	15	20	25	32	40	50	65	80	80	100	125	150
阀型号	执行器可关断压力 $\Delta p_B$ (bar) 1bar=100kPa											
V5011N	10	10	10	7.5	4.6	2.6	1.5	0.8	—	—	—	—
V5049A	16	10	10	6	3.5	2.0	1.2	—	2.3	2.3	0.9	0.9

## 14 电气系统设备

## 14.1 电量变送器

## (1) 概述

对建筑物变配电系统运行参数进行测量、用电量进行累计和电气设备运行状态进行监视, 是建筑设备监控系统的工作。其中为了能与控制器完成信号连接, 需要使用各种电量变送器; 电量变送器的输入信号可以来自电压互感器、电流互感器。低压电量变送器的输入也可以直接把低压电压、电流信号接入电量变送器, 只要电压、电流量程范围符合要求; 常规电量变送器的输出都是标准电气信号, 0~10VDC 或 4~20mA DC; 智能电量变送器的输出则是现场总线数据, 例如使用 LonWorks 现场总线或 Modbus 现场总线, 直接与中央站进行通信。

## (2) 电量变送器种类

- 1) 电压变送器。
- 2) 电流变送器。
- 3) 有功功率变送器。
- 4) 无功功率变送器。
- 5) 功率因数变送器。
- 6) 频率变送器。
- 7) 千瓦小时变送器 (脉冲计数信号)。
- 8) 千乏小时变送器 (脉冲计数信号)。

## (3) 智能电量变送器

智能电量变送器是在一台变送器中, 连接三相电压  $U_{abc}$ 、三相电流  $I_{abc}$  等 6 个信号, 同时测量出电压电流之间的相位差  $\varphi$  以后, 应用单片机的计算能力, 进一步得到电路的视在功率伏安 VA,  $S = UI$ ; 有功功率瓦特 W,  $P = UI \cos \varphi$ ; 无功功率乏 var,  $Q = UI \sin \varphi$  等需要的电量参数, 再通过单片机把它们变成可以在某种现场总线上传输的数据流, 与中央站进行数据通信, 完成该组电量信息的监控。

## 14.2 变频器

## (1) 概述

变频器 VFD (Variable Frequency Device), 是用于交流调速系统的电力电子产品, 1971 年德国的 F. Blaschke 和美国的 P. C. Custman、A. A. Clark 分别提出了交流电动机矢量控制原理以后, 使交流电动机从理论上解决了获得与直流电动机传动相似的静、动态特性。矢量控制理论提出把电动机定子电流分解成为磁场电流分量和与之相垂直的转矩电流分量, 使交流量的控制转换为直流量的控制, 把交流调速与



直流电动机调速联系起来,由于近来全控型大功率快速电力电子器件和计算机技术的应用,可以用软件来实现矢量控制算法,从而使变频器技术得到很大的提高。变频器与交流电动机的联合应用,尤其与鼠笼电动机的结合,使整个传动系统体积小、控制精度高、操作方便,已经是建筑设备监控系统的重要电气设备,在 VAV 变风量空调系统, VVVF 空调变水量控制系统中得到广泛的应用。

建筑设备监控系统大量使用的风机、水泵设备,是所谓平方率负载设备,即它们的流量与电动机转速一次方成正比,压头(扬程)与电动机转速平方成正比,而电动机轴功率与电动机转速立方成正比,这样,如果电动机转速降低一倍,理论上可以节约 87.5% 的电能,  $1 - 0.5^3 = 1 - 0.125 = 0.875$ ; 所以,在建筑节能的应用中,变频器是不可或缺的设备。

(2) 变频器改变供电频率实现电动机调速  
交流异步电动机的转速为

$$n = (60f/p)(1 - s)$$

式中,  $n$  为电动机转速,  $1/\text{min}$ ;  $f$  是定子供电频率,  $1/\text{s}$ ;  $p$  是电动机极对数,  $1$ ;  $s$  是电动机转差率,  $1$ 。

因此改变定子供电频率就可以改变电动机的转速。

改变供电频率需要用电力电子器件来完成交流直流之间的变换,随着电力电子器件的快速发展,变频器技术也就日新月异发展,目前性能和价格都已经达到能够普及应用的状态。不同的电力电子器件用途也不一样,在不停电电源 UPS 和电动机调速领域,主要使用电力晶体管 GTR、门极关断晶体管 GTO 和绝缘栅双极晶体管 IGBT。GTO 耐压高达 9000V、电流 9000A、浪涌电流 10 倍, GTR 耐压高达 1400V、电流 800A、浪涌电流 3 倍, IGBT 耐压高达 4500V、电流 2500A、浪涌电流 5 倍,建筑设备监控系统的 VFD 变频器,使用 IGBT 或 GTR 就可以(见表 9.6-25)。

表 9.6-25 变频器电力电子器件一览表

类 型	代 号	名 称
不可控器件	D	整流二极管 Diode
半控器件	Th	普通晶闸管 Thyristor
	SCR	晶闸管整流器 Silicon Controlled Rectifier
全控器件	BJT (GTR)	双极型晶体管 Bipolar Transistor (电力晶体管 Gianttransistor)
	GTO	门极关断晶体管 Gate Turn-Off Thyristor
	P-MOSFET	电力场效应晶体管 Power MOS Field-Effect Transistor
	IGBT	绝缘栅双极晶体管 Isolated-Gate Bipolar Transistor
	MCT	场控晶闸管 MOS-Controlled Thyristor
	SIT	静电感应晶体管 Static Induction Transistor
	SITH	静电感应晶闸管 Static Induction Thyristor
功率集成电路	PIC	功率集成电路 Power Integrated Cricuit

变频器是把来自市电电源的交流电变成直流电,平滑滤波后,用逆变器再把直流电变成频率可变的交流电,作为电动机定子线圈的供电电源,变化的供电频率,使电动机转速得到调节。变频器用于鼠笼式电动机调速。

建筑设备监控系统风机和水泵调速采用保持磁通  $\Phi$  不变,调频调压,使  $U/f$  为常数,频率在低于市电供电频率 50Hz 的范围内变化的方法,这种方式称为“恒转矩调速”,调节频率  $f$ ,改变电动机转速。变频器是介于电源与电动机之间的设备(见图 9.6-26)。

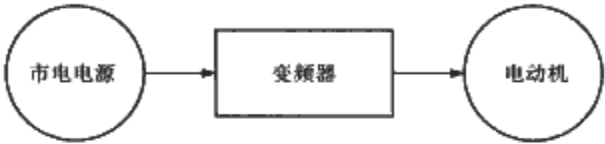


图 9.6-26 变频器控制电动机转速

(3) 恒转矩调速特点

1) 控制方式简单,能够适合各种交流电动机。

2) 调速范围为 1:10。

(4) 变频器使用注意事项

1) 高次谐波造成电磁干扰,要选用低噪声干扰的产品。

2) 通常,水泵类负载转速不低于 60%,风机类负载转速不低于 50%。

(5) 变频器产品介绍

日本安川公司 Varispeed G7 变频器系列,三相 400V 级,功率 0.4~300kW,23 个机种,采用 3 电平矢量控制,每一相用 4 只串联的绝缘栅双极晶体管 IGBT (Isolated-Gate Bipolar Transistor),内装直流电抗器,减少了电磁干扰,变频器还提高了低速转矩特性和快速响应。除了 RS485 和 RS232 通信接口外,还提供 LonWorks、Modbus、Profibus、CC-Link 等现场总线通信接口。

14.3 继电器

继电器是建筑设备监控系统控制器常用的 DO 数字量输出设备,主要分为有触点继电器和无触点继电器(固态继电器)两类。

有触点继电器主要使用电磁式继电器,输出触点接通容量与断开容量可以达到交流 240V/4A,用在直流回路,容量则需要降低。

建筑设备监控系统中的无触点继电器(固态继电器),主要是指三端双向晶闸管交流开关 TRIAC,接通与断开容量可以达到交流 24V/500mA,某些新产品,例如 FCU 风机盘管机组微控制器使用的三端双向交流晶闸管开关已经达到 240VAC / 500mA,以便直接控制风机盘管机组的直接连接在强电回路的空调水电动开关阀。

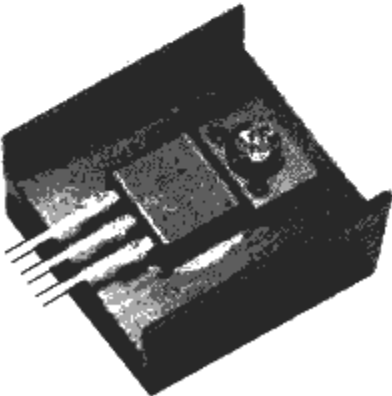


图 9.6-27 三端双向晶闸管交流开关

三端双向交流晶闸管开关 TRIAC,是把两个晶闸管整流器 SCR (Silicon Controlled Rectifier) 反向连接在一起,一个 SCR 负责交流电的正半周电流流通,另一个 SCR 负责交流电的负半周电流流通,从而完成交流电的正负半周电流流通通断控制(见图 9.6-27)。

## 15 热量表

在建筑节能要求越来越严格的形势下,热量表将成为建筑设备监控系统的重要现场仪表,因为分层计量收费和分户计量收费是建筑节能的重要措施。专用于热量表的现场总线是仪表总线 Meter Bus,是热量表广泛采用的现场总线。截至 2007 年 1 月 23 日,已经有国际 23 家公司采用仪表总线 Meter Bus 生产的 65 种热量表产品通过瑞士 ENGIBY 公司测试符合互换要求,被纳入 Meter Bus 系列产品(见表 9.6-26)。

表 9.6-26 通过瑞士 ENGIBY 公司测试的  
Meter Bus 产品系列表

制造厂	产品名称	类型
Aquametro	AMTRON-NW	热量
	AMTRON-N	热量
	CALEC MB	热量
	CALEC ST	热量
	AMBUS IS	脉冲计数
	AMBUS IS2W	脉冲计数
	Ultrasonic E	热量
Zenner	Multidata SI	热量
	ImPulse counter IZM972	脉冲计数
	Heat counter BM-EE	热量
ABB	Heat counter, SVM F2	热量
	Heat counter, SVM F4	热量
	Heating/Cooling counter, SVM H/C	热量
	Deltameter	电力
Schlumberger	CF 50 M-Bus-Interface	热量
	CF Echo	热量
Danfoss	EEM-C CALStreem	热量
	EEM-C CALStreem	热量
	with manufacturer data	
Techem	Delta-tech Split	热量
	Classic S	热量
	Classic S, new version	热量
	Water counter m-bus S	热量
Pollux	SPX B 501	热量
	SPX metrona PolluCom E/S	热量
	SPX Pollu MUK-E	热量
Paul Vaucher	PV Optima	热量
NeoVac	Supercal SC 431	热量
	Supercal 531	热量
	Supercal 539	热量

续表

制造厂	产品名称	类型
Kamstrup	Multical III	热量
	Multical Compact	热量
	Maxical III	热量
	Kamstrup 382	电力
Siemens	2WR4/2WR5 SITRANS FU E950	热量 热量
Relay	PadPuls M1	脉冲计数
	PadPuls M2	脉冲计数
	PadPuls M4L	脉冲计数
Viterra Energy Services	Sensonic II	热量
	Istameter III	热量
	Istameter m	热量
	Combimeter II	热量
	Pulsonic II	热量
ELKO	EIZ-EDW DIZ	电力 电力
Berg	Serie BLMi Energikontroller DZ 4000	电力 电力
GWF	EnerCal F2	热量
	EnerCal F3	热量
	MTWcoder	热量
	MTW3-V	热量
Scylar	Hydrometer Scylar II	热量
	Hydrometer Scylar HEAT	热量
	Hydrometer Scampy	热量
	Hydrometer Scampy II	热量
	Hydrometer Flipper II	热量
	See also Hydrometer	热量
Hydrometer	Hydro-Port Pulse See also Skylar	脉冲计数
GMC	Electricity, U1187 / U1189	电力
	Electricity, U128x / U138x	电力
EMU	EMU 32. xx	电力
Actaris / Allmess	Integral MK MaXX	热量
	CF 51	热量
	CF Echo II	热量
Optec	Optec Digital 3/5 DT	电力
EMH	EMH DIZ	电力
总计	65 种	4 类

## 第7章 建筑设备监控系统控制原理

### 1 空调与通风系统

#### 1.1 新风机组控制

新风机组是以满足室内卫生要求而不是以负担室内负荷为主要目的来使用的设备,为了避免新风对室内空气温度湿度状态的干扰,新风需要进行热湿处理,使送风温、湿度保持设定值。

##### (1) 监测功能

- 1) 送风机状态显示及故障报警。
- 2) 送风温、湿度。
- 3) 过滤器堵塞报警。
- 4) 防冻报警。
- 5) 手/自动状态。

##### (2) 控制功能

- 1) 起停风机。
- 2) 控制冷(热)水调节阀,使送风温度达到设定值。
- 3) 控制送风加湿器或进行送风除湿处理,使送风湿度达到设定值。
- 4) 连锁控制:防冻开关报警,停止风机运行,关闭新风阀。

#### 1.2 空调机组控制

##### 1.2.1 定风量空调系统的监测与控制

定风量空调系统的特点是送风量不变,改变送风的温度、湿度来满足室内负荷的变化,使室内温度、湿度保持设定值。

##### (1) 监测功能

- 1) 新风温度及湿度。
- 2) 回风温度及湿度。
- 3) 送风温度及湿度。
- 4) 过滤器堵塞报警。
- 5) 防冻报警。
- 6) 送风机、回风机状态显示及故障报警。
- 7) 手/自动状态。

##### (2) 控制功能

- 1) 起停风机。
- 2) 控制冷(热)水调节阀,以使回风温度达到设定值。
- 3) 控制送风加湿器或进行送风除湿处理,使回风湿度达到设定值。
- 4) 焓值控制。根据回风温、湿度值和新风温、湿度值由控制器进行回风及新风焓值计算后,参考新风、回风温度数值,进行焓值控制,使系统在最大新风量或最佳的新风/回风比状态下运行,以便达到节能的目的。
- 5) 排风量应等于新风量,排风阀的开度与新风阀的开度相等。
- 6) 连锁控制:防冻开关报警,停止风机运行,关闭新风阀。

##### 1.2.2 变风量空调系统的监测和控制

变风量空调系统的特点是通过改变送风量来满足空调区

域对变化的冷热负荷的要求,方法是采用变频器来调节送风机电动机转速,达到节能的目的。

##### (1) 监测功能

- 1) 主干风道送风静压。
- 2) 回风温度及湿度。
- 3) 送风温度及湿度。
- 4) 新风温度及湿度。
- 5) 过滤器堵塞报警。
- 6) 送风机、回风机运行状态显示、故障报警。
- 7) 防冻报警。
- 8) 手/自动状态。

##### (2) 控制功能

1) 送风量的自动调节。在变风量空调系统中,通常把系统送风主管的风道静压设定值作为变风量系统的主调节参数,根据参数的变化来调节风机转速,以维持风道静压设定值。用改变送风量来满足空调系统变化负荷的需要,达到节能的目的。系统的调节过程为:当系统负荷需要风量增加(减少)时,管道静压降低(升高),传感器把静压变化量测出,送到控制器,由控制器输出控制信号到变频器,调节风机转速,改变送风量,当送风量逐步与所需负荷平衡时,静压恢复到设定值,系统在新的平衡点工作。

2) 控制送风加湿器或进行送风除湿处理,使回风湿度达到设定值。

3) 焓值控制。根据新风温、湿度和回风温、湿度,由控制器进行新风及回风焓值计算后,参考新风、回风温度数值,进行焓值控制,使系统在最大新风量或最佳的新风/回风比状态下运行,以便达到节能的目的。

4) 排风量应等于新风量,所以排风阀的开度与新风阀的开度相等。

5) 连锁控制:防冻开关报警,停止风机运行,关闭新风阀。

### 2 冷冻水和冷却水系统

#### 2.1 监控内容

冷冻水和冷却水系统主要由冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔组成,自动控制的主要目的是协调设备之间的连锁控制关系,进行起/停控制;根据供回水温度、流量等参数计算系统冷量,进行台数控制,达到节能目的。

##### 2.1.1 一次泵冷冻水系统

##### (1) 设备连锁

一次泵冷冻水系统在起动或停止过程中,冷水机组应与相应的电动阀门、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔等进行电气连锁控制。起动顺序为:冷却塔蝶阀→冷却水泵→冷冻水泵→冷水机组,停机顺序相反。

##### (2) 压差控制

冷冻水供、回水进出口总管之间应设置压差控制装置,通常由旁通电动两通阀及压差传感器组成。旁通阀安装在集水器与分水器之间,压差传感器应考虑设在水系统中压力较

平稳的地点,以提高控制的精度。

### (3) 设备运行台数的控制

1) 回水温度控制。回水温度控制冷水机组运行台数的方式,适合于冷水机组定出水温度的空调水系统,这也是目前广泛采用的水系统形式。通常冷水机组的出水温度设定为 $7^{\circ}\text{C}$ ,则不同的回水温度反映了空调系统中不同的需冷量。

尽管从理论上来说回水温度可反映空调需冷量,但由于目前较好的水温传感器的测量精度大约在 $0.3\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ ,而冷冻水设计供、回水温差大多为 $5^{\circ}\text{C}$ ,因此回水温度控制方式在控制精度上受到了温度传感器的约束,不可能很高。同时,为了防止冷水机组起停过于频繁,一般不用自动起停机组,而采用自动监测、人工起停的方式。

2) 冷量控制。冷量控制是测量冷冻水供、回水温度( $T_1$ 、 $T_2$ )及冷冻水流量( $W$ ),计算实际需冷量 $Q=W(T_2-T_1)$ ,由此决定冷水机组的运行台数。

### 2.1.2 二次泵冷冻水系统

二次泵系统的监控内容包括:设备起停连锁、冷水机组台数控制和次级泵控制等。

二次泵系统中,冷水机组、一次冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔及有关电动阀门的电气连锁起停程序与一次泵系统相同。

#### (1) 冷水机组台数控制

在二次泵系统中,由于连通管的作用,无法通过测量回水温度来决定冷水机组的运行台数。因此二次泵系统冷水机组台数控制必须采用冷量控制的方式。

#### (2) 二次泵控制

二次泵控制方式分为台数控制、变速控制和联合控制三种。

1) 二次泵台数控制。采用这种方式时,二次泵全部为定速泵,同时应对供回水压差进行控制,因此设有压差旁通电动阀。

压差控制:当系统需水量小于二次泵组运行的总水量时,为了保持供回水压差在设定值,应设旁通电动阀,通过压差保持控制旁通水量。当旁通阀全开而供、回水压差继续升高时,则应停止一台二次泵运行。当系统需水量大于运行的二次泵组总水量时,旁通阀全关,如果压差继续下降,应增加一台二次泵投入运行。

流量控制:根据流量计流量测量值并与每台二次泵设计流量进行比较,即可方便地得出需要运行的二次泵台数,由于流量测量的精度较高,运用流量控制是更为精确的方法。这时的旁通阀只是作为水量旁通用,而不是参与二次泵台数控制。

2) 变速控制。二次泵为变速泵时,其控制参数既可是二次泵出口压力,又可是供、回水管的压差。通过测量被控参数并与给定值相比较,改变变频器输出频率,控制水泵转速。

3) 联合控制。采用一台变速泵与多台定速泵组合,其被控参数既可是压差,也可是压力。这种控制方式,既要控制变速泵转速,又要控制定速泵的运行台数。同时从控制和节能要求来看,任何时候变速泵都应保持运行状态,且其参数会随着定速泵台数起/停时发生较大的变化。

在变速泵调速过程中,不能采用流量为被控参数而必须用压力或压差进行变速控制。

### 2.1.3 冷却塔的控制

冷却水回水温度不能符合要求时,则应自动启动冷却塔风机。

## 2.2 自动控制

### 2.2.1 监测功能

- 1) 冷冻水供、回水温度。
- 2) 冷冻水供、回水压力。
- 3) 冷冻水回水流量。
- 4) 冷却水供、回水温度。
- 5) 冷水机组工作状态、故障状态。
- 6) 冷冻水循环泵、冷却水循环泵、冷却塔风机及补水泵运行状态、故障状态及手/自动状态。
- 7) 补水箱高液位、低液位及溢流液位。

### 2.2.2 控制功能

#### (1) 冷冻水系统的自动控制

保证冷水机蒸发器通过足够的水量以使蒸发器正常工作,并防止冻坏。

向冷冻水用户提供足够的冷水量以满足使用的要求。

在满足使用要求的前提下尽可能减少冷水机、循环水泵电耗。

#### (2) 冷却水系统的自动控制

保证冷却塔风机、冷却水泵安全运行。

确保冷冻机冷凝器侧有足够的冷却水通过。

根据室外气候情况及冷负荷,调整冷却水运行工况,使冷却水温度在要求的设定温度范围内。

每台冷却塔风机应通过控制系统进行起停控制,起停台数根据冷冻机开启台数、冷却水温度、冷却水泵开启台数来确定。有的冷却塔风机采用双速电机,通过调整风机转速来调整冷却水温度,以适应制冷负荷的变化,此时控制系统应控制其高/低速转换。

#### (3) 冷冻水和冷却水系统设备起停连锁

冷水机组投入运行的顺序为:冷却塔蝶阀→冷却水泵→冷冻水泵→冷水机组。停机时顺序相反。

通过对供回水压差的测量,控制器控制旁路水阀,维持供、回水压力差于某一设定值。

根据冷却水供水温度起/停冷却塔风扇,当冷却水供水温度低于某一设定值时,关停冷却塔风扇,达到节能的目的。

#### (4) 冷水机组的台数控制

根据冷冻水供、回水温度和流量,计算出系统的实际负荷冷量,将计算结果与当时冷水机组投运台数下的总供冷量作比较,若总供冷量与空调系统的实际负荷之差大于一台冷水机组的供冷量时,则发出停止一台冷水机组运行的提示,管理人员确认后,手动停止一台机组运行。

## 2.3 冷水机组主机单元控制器

大多数的冷水机组都带有以计算机控制为核心的单元控制器对冷水机进行监测和控制。在应用建筑设备监控系统时,需要考虑冷水机已配备的单元控制器包括哪些功能,如何有效地利用这种单元控制器已有的监控功能,以及如何实现建筑设备监控系统与冷水机单元控制器之间的信息交换。

通常有三种解决建筑设备监控系统与冷水机单元控制器之间联系的方法:

1) 建筑设备监控系统不与冷水机单元控制器通信,而是另外安装水温传感器、流量传感器等以监测冷水机的工作状态。

当需要开/关冷水机或改变出口水温设定值时,通知值

班人员进行相应的人工操作。冷水机的其他运行参数及故障报警信息也不能通过建筑设备监控系统传到中央值班室,冷冻机房必须有人常驻值班管理。

2) 一些冷水机厂商还提供一种集中控制器系统,可以根据负荷相应地改变起停台数,也包括对冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔风机等设备的统一控制,成为一个相对独立的冷水机控制系统。由于冷水机组及循环水泵的控制很大程度上与使用这些冷冻水的空调系统有关,将冷水机控制系统与建筑设备监控系统分离,很难适应总体的分析与控制调节,所以通常要求集中控制器系统与建筑设备监控系统进行集成。

3) 实现冷水机组的单元控制器与建筑设备监控系统的通信,要求冷水机单元控制器生产厂家提供国际标准通信接口或公开通信协议,使建筑设备监控系统与单元控制器之间进行信息交换。

### 3 热源和热交换系统

#### (1) 监测功能

- 1) 一次侧供水温度。
- 2) 一次侧回水温度。
- 3) 热交换器二次水出口温度。
- 4) 二次侧分水器供水温度。
- 5) 二次侧集水器回水温度。
- 6) 二次侧回水流量。
- 7) 二次侧供、回水压差。
- 8) 二次水循环泵运行状态显示及故障报警。

#### (2) 控制功能

1) 根据热交换系统二次侧供水温度测量值与给定值的比较,调节一次侧热水调节阀,使二次侧供水温度保持在设计要求范围内。

2) 二次侧供、回水压差控制,根据压力(压差)传感器测量值,调节二次侧分水器与集水器之间的旁通电动调节阀,使供回水压差保持为设定值。

### 4 给排水系统

#### 4.1 给水监控系统

##### (1) 高位水箱给水系统的监控

生活给水系统由高位水箱、给水泵和低位蓄水池等构成。

1) 给水泵起/停控制。高位水箱(蓄水池)一般设有4个水位传感器,即溢流水位、最低报警水位、给水泵停泵水位和起泵水位。根据水位开关信号来控制给水泵的起/停;当高位水箱液位低于起泵水位时,启动给水泵;当高位水箱液位高于停泵水位或蓄水池液位达到停泵水位时,停止给水泵。当工作泵发生故障时,备用泵自动投入运行。

2) 监测及报警。当高位水箱(或蓄水池)液位高于溢流水位时,自动报警;当液位低于最低报警水位时,自动报警。但蓄水池的最低报警水位并不意味着蓄水池无水,为了保障消防用水,蓄水池必须留有一定的消防用水量,发生火灾时,消防泵启动。如果蓄水池液位达到消防用水最低水位,将发生报警。水泵发生故障时自动报警。

3) 设备运行时间累计。累计设备运行时间,为定时维修提供依据,并根据每台泵的运行时间,自动确定作为运行泵或是备用泵。

##### (2) 变频器恒压给水系统的监控

供水的恒压控制,使供水的供水压力自动地保持恒定。

- 1) 提高供水的质量。
- 2) 节约能源。
- 3) 启动电流可限制在额定电流以内,从而避免了启动时对电网的冲击。
- 4) 由于泵的平均转速降低了,从而可延长泵、阀门及其他设备的使用寿命。
- 5) 可以消除启动和停机时的水锤效应。

#### 4.2 排水监控系统

建筑物内的污水一般集中于污水集水坑(池),根据液位达到一定高度时的信号,用排水泵将污水提升至室外排水管道中排放。

##### (1) 集水坑(池)与废水集水坑(池)监控功能

1) 污水集水坑(池)与废水集水坑(池)高低水位监测及超限报警。

2) 根据污水集水坑(池)与废水集水坑(池)高低水位,控制排水泵的起停。当污水集水坑(池)与废水集水坑(池)水位达到高限时,启动相应的水泵;当水位高于报警水位时,联锁启动相应的备用泵,直到水位降至低限时联锁停泵。

##### (2) 排水泵监控功能

- 1) 排水泵运行状态的监测及发生故障时报警。
- 2) 累计排水泵运行时间,为定时维修提供依据,并根据每台泵的运行时间,自动确定作为工作泵或是备用泵。

### 5 变配电系统

变配电系统的关键是保证建筑物安全可靠的供电,为此最基本的是对各级开关设备的状态监测和主要回路的电流、电压及功率的监测。由于电力系统的状态变化和事故都是在瞬间发生,因此在监测时要求采样间隔小,并且应能自动连续记录各开关状态和各测量参数的连续变化过程,这样才能预测并防止事故的发生,或在事故发生后及时判断故障情况。

#### 5.1 监测内容

1) 测量运行参数,包括电压、电流、功率和变压器温度等,为正常运行时计量管理、事故发生时故障原因分析提供数据。

2) 监视电气设备运行状态,包括高低压断路器、主线联络断路器等各种类型开关的合、分状态;提供电气主接线图开关状态画面;发现故障自动报警,并显示故障位置。

3) 对所有用电设备的用电量进行统计及电费计算与管理;绘制用电负荷曲线。

4) 对各种变配电设备的检修、保养维护进行管理。

5) 应急柴油发电机组的电压、电流等参数测量,机组运行状态,故障报警和监测油箱液位等。

6) 蓄电池组的电压、电流测量及故障报警。

#### 5.2 监测方法

通过电量变送器把强电柜中的电压互感器 0~110V 交流信号、电流互感器 0~5A 交流信号转换为 DDC 控制器的直流标准输入信号(0~10V、4~20mA)进行变配电系统电压、电流、功率等电气参数的监测。

通过强电柜中断路器、接触器、继电器的辅助触点获取变配电开关状态的监测。



## 6 公共照明控制系统和电梯系统

### 6.1 公共照明控制系统功能

照明系统的控制与节能有重要关系,在大型商业建筑中,照明的电耗仅次于空调系统,与常规管理相比,好的公共照明系统控制可节电30%~50%,主要是对门庭、走廊、庭园和停车场等处照明的定时控制和光照度控制,以及对照明回路分组控制和厅堂、办公室及客房“无人熄灯”控制。

需要将建筑物内外照明设备按需分成若干组别,通过在建筑设备监控系统分别设定起停时间表,以时间区域程序来设定开/关,也可以通过采用窗开关、红外线探测等方法确定是否无人进行切断照明的控制,以达到节能效果。

当建筑物内有突发事件发生时,照明设备控制应作出相应的联动配合。如火警时,联动照明系统关闭,打开应急灯;当有保安报警时,相应区域的照明灯开启。

### 6.2 电梯控制系统及其接口

有条件时,可以通过与电梯控制系统的网络通信,对其进行集中监测和管理。通过系统管理中心,以图形方式显示电梯的运行状态,当电梯发生故障时,向系统管理中心报警。

## 7 建筑设备监控系统中央管理工作站

### 7.1 基本功能

中央管理工作站基本功能包括显示功能、操作功能、控制功能、统计分析功能、设备管理功能和故障诊断功能。

#### (1) 显示功能

- 1) 日历显示,可显示年、月、日、星期、时间。
- 2) 图形/图表显示。

①显示系统图形/图表,以图表显示出每一单元系统的控制和管理内容,在图表上显示出设备的实际运转状态以及各种数据。每隔一定时间数据更新显示,大的系统图可分为若干个小图,画面可以水平/垂直滚动。

②单点的信息检索,可从显示的系统图中调出单点的相关详细图形和数据。

3) 报警显示,报警发生时画面的强制显示,同时显示报警的相关信息,(包括报警时间、设备名称及类型)并以一览表的方式显示出未经操作确认的报警信息。

4) 报警信息历史显示,报警信息可长期保存,调用时可分类检索,以表格的方式显示。

5) 操作记录历史显示,显示操作时间及内容,操作记录用一览表方式显示。

6) 趋势图显示,显示测量对象及设备运行的历史趋势图,显示的时间间隔可设定。

7) 显示各类统计报表,包括月报、日报等,按照日报(时间单位)、月报(日单位)格式显示出所指定的测量值、累计计算值。

8) 图形显示,以系统形式或地理位置形式构成画面显示,画面上显示设备的运行状态及数据,各类传感器当前测量数据等其他相关状态和数据。

9) 监控信息一览表,包括监控点一览表、报警点一览表、运行中设备一览表、停止中设备或维修中设备一览表。

10) 帮助显示,显示操作说明及各类帮助信息的画面。

11) 多窗口显示,可用多窗口显示多个画面。

#### (2) 操作功能

中央管理站的操作功能是指使用者通过中央管理站对建筑设备监控系统中的设备进行控制,也可直接对某些控制参数进行重新设定。为防止各种误操作和区分责任事故,要求设置一套有效的保护系统,一般采用密码制。只有输入正确的密码,才可直接对某个范围内的设备进行操作,同时计算机应自动记录该操作者所作的全部运动操作及相关设备的动作情况,以便在出现事故时分析原因,查清责任。对于大型系统,每个持有密码的操作者只能对某个预先限定范围内的设备进行操作。

操作功能的主要内容:

1) 远方变更设定值,从系统图画面或从设备一览表中进行操作。包括自动/运动工作模式设定、控制参数设定等。

2) 运动单个设备起动/停止操作,从系统图画面或从设备一览表中进行操作。

3) 成组设备起动/停止操作,可依据时间设定表、联动逻辑进行设定操作。

4) 变更成组设定值操作。

5) 指定维修登录/解除操作,在设备维修时,可进行设备的维修登录/解除指定操作,这时维修中的设备可以暂停执行控制程序。

6) 指定程序的许可/禁止操作。

#### (3) 控制功能

1) 日历功能:使用自动判断闰年、大月、小月的万年历,并且可以设定节假日。

2) 定时控制功能:BAS系统中相当多的设备需要定时起/停,这种起/停控制的时间有时还要进行修改,需要通过中央管理站来对设备的起/停控制的时间表进行设定、修改,对设备进行单独的或成组的起停时间的设定、修改。可以有两种方法:一种是由中央管理站来执行,依据时间表直接向现场控制机发出起/停命令;另一种则是将起停时间表送到现场控制器,由现场控制器根据时间表进行起/停控制。

3) 火灾程序控制:发生火灾时,停止空调机组等相关设备的运行。在输入火灾信号时,火灾画面会显示在显示器上。对火灾时停止运行的设备,取消其他控制信号输入。

#### (4) 统计分析功能

为配合使用者的管理需要,中央管理站应对数据作进一步的统计分析。

1) 能量统计。如各子系统的电量、冷量、热量、水量等的日累计、月累计及常年累计,平均值及最大值,以帮助管理人员分析能耗状况,作出判断决策。

2) 收费统计。根据预先指定的各用户范围统计每个用户每个月负担的电费、水费、空调费及用热费,帮助管理人员进行收费管理。

3) 设备运行统计。累计各台设备的连续运转时间,维修保养后的运行时间等,为维修管理设备提供依据。

4) 参数统计。根据管理的要求,对相关数据进行累计和统计计算。例如各个空调区域的日、月平均温度,最高、最低温度,一个月内温度高于上限与低于下限的累计时间等,供评价系统运行效果时参考。

#### (5) 设备管理功能

在计算机内建立各主要设备的档案,存储各设备性能规格及厂家信息、安装位置与连接关系,记录根据实测累计的连续运行时间、维修记录及其他运行状况。计算机可根据这些统计参数及预先规定的规则,自动编排设备的维修计划。这些维修计划可以根据设备累计和连续运行时间,同时顾及



各台设备间的相互备用以及季节性使用设备的时间特点。

在计算机的设备档案管理中可以由维修人员输入每次的维修记录,这样,将预先录入的设备原始档案资料、动态输入的维修记录及实时统计的运行信息结合在一起,再加上相应的管理制度,可构成在线的实时设备管理专家系统,它将显著提高设备维护管理水平。

#### (6) 故障诊断功能

系统各设备的故障诊断是中央管理站的另一重要功能。由分析现场控制器采集来的实时数据的基础上实现的。根据诊断内容及分析的深入程度,故障诊断可分为三个层次:

1) 运行数据的上下限报警。对各主要运行参数给出正常工况下的最高值与最低值,当实测数据超(低)出此范围时,系统发出报警信号,弹出报警信息框或同时发出声音以示报警。运行维护人员根据报警信息分析参数超(低)线的原因,进行故障的排除。

2) 现场控制器故障报警。当某一控制设备出现故障、现场控制器的部分出现故障或通信系统部分中断时,现场控制器会进行故障判断和确认,将结果传给中央管理站,中央管理站会及时了解现场控制设备及现场控制器的故障发生情况,给维护管理人员及时提供信息。

3) 被控设备的故障诊断。即根据实测的设备运行参数,分析出被控设备故障。

### 7.2 中央管理站软件

#### (1) 中央管理站软件的组成

- 1) 系统软件。
  - 2) 数据通信软件。
  - 3) 显示格式和表格软件。
  - 4) 人机接口软件。
  - 5) 日程表软件。
  - 6) 时间/事件诱发程序软件。
  - 7) 报警处理软件。
  - 8) 控制软件。
  - 9) 数据库软件。
  - 10) 能量管理软件及其他应用软件等。
- (2) 中央管理站软件的主要特点
- 1) 能提供一个综合的管理和服务平台。
  - 2) 能接入多种类型的控制器。
  - 3) 能适应多种的通信协议。
  - 4) 交互式的图形化的人机界面。
  - 5) 具有不同级别的操作员及管理人員的访问级别控制功能。
  - 6) 可由用户定义的报警管理功能。
  - 7) 图形构筑的工具库。
  - 8) 对设备运行和特殊事件的处理功能。
  - 9) 控制点的历史和动态趋势记录。
  - 10) 各种报表和信息记录。

## 参 考 文 献

- [1] 顾宁, 刘家茂, 柴晓路. Web Services 原理与研发实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 蔡月茹, 柳西玲. Web Service 基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] 小泉修著. Web 技术[M]. 王浩, 译. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] 阳宪惠. 工业数据通信与控制网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [5] 田艳, 高集荣, 张天宇. 网络技术[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [6] 张浩. Interbus 现场总线与工业以太网技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [7] 董春桥. 智能楼宇 BACnet 原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [8] 郑文波. 控制网络技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [9] 马丽萍. WorldFIP 现场总线的特点“PLC & FA”2006.
- [10] 欧姆社. 电工电子通信公式[M]. 聂凤仁, 秦晓平, 译. 北京: 科学出版社, 2005.
- [11] AMBUS Net operating instructions, aquametro, 2006.
- [12] Prof. Dr. H. Ziegler, CEN/TC176-WG4-N95 Rev 3 Communication interfaces between subunits of heatmeters.
- [13] Prof. Dr. H. Ziegler, Dedicated Application Layer (M-Bus), 2001.
- [14] Dan Hebert. Is Ethernet Ready to Take On Fieldbuses. “Control”, 2004.
- [15] 缪学勤. 解读 IEC 61158.4 版. 现场总线标准“仪器仪表标准化与计量”, 2007. 3.
- [16] 力控公司. 力控 R 企业级实时数据库 pSpaceTM. 工业控制网, 2007.
- [17] 王达. 走近交换机. 天极硬件频道, 2003-09-30.
- [18] 王达. 集线器. 天极网, 2004-07-27.
- [19] 陈海东. 浅谈 UPS 选择和维护. 爱默生网络能源技术, 2006-10-20.
- [20] 美国 Contemporary 公司(科动公司). CTRLink 系列 EIBA5 交换机系列样本, 2007.
- [21] Honeywell 公司. EBI 系统说明书, 2006.
- [22] 中国国家标准, GB 50339—2003 智能建筑工程质量验收规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [23] 皮壮行, 宫振鸣, 李雪华. 可编程序控制器的系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [24] 丁炜, 魏孔平. 可编程控制器在工业控制中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [25] 蒋慰孙, 俞金寿. 过程控制工程[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004.
- [26] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [27] 王毅. 过程装备控制技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [28] Vance J. Van Doren. PID 控制领域的常青树 Control Engineering China, 2004. 2.
- [29] 高峰. 单片微机应用系统设计及实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [30] 郭兵, 沈艳, 林永宏, 等. SoC 技术原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [31] 张青虎, 岳子平. 智能建筑工程检测技术[M]. 北京: 建筑工业出版社, 2005.
- [32] Modicon. Modbus Protocol Reference Guide, 1996.
- [33] Ramon Pallas-Areny, John G. Webster. 传感器和信号调节[M]. 张伦, 译. 吴常津, 校. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [34] 计鹏. 实用电气仪表工程施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [35] 孙见君. 制冷与空调装置自动控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [36] 施俊良. 调节阀的选择[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.
- [37] 陈沛霖. 空调技术问答[M]. 上海: 同济大学出版社, 2003.
- [38] 张楨, 周治湖. 空调自控设计基础及图例集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [39] 张少军, 杜金城. 交流调速原理机应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [40] 叶大法, 杨国荣. 变风量空调系统设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [41] Greystone. The products of Greystone Energy Systems INC.
- [42] LonMark American, LonMark Facility Automation System Master Specification Division 15 (15950).



## 第10篇 安全防范系统与工程

主 编：刘希清

副 主 编：施巨岭 张 跃

编写人员：孙 兰 沈伟斌 李天奎 杨国胜 朱 峰



# 第1章 安全防范技术概述

## 1 安全防范的概念

根据《现代汉语词典》的解释,所谓安全,就是没有危险、不受侵害、不出事故;所谓防范就是防备、戒备,而防备是指做好准备以应付攻击或避免伤害,戒备是指防备和保护。

简而言之,做好准备和防护,以应对攻击或避免伤害,从而使被保护对象处于没有危险、免受侵害、不出事故的安全状态,就是安全防范的基本内涵。

显然,在这里安全是目的,防范是手段,通过各种防范手段达到或实现安全的目的,就是安全防范工作、安全防范技术的全部内容;损失预防、犯罪预防、突发性事件的应急处理,将是安全防范的永恒主题。

## 2 安全防范的基本手段和基本要素

安全防范的三种基本防范手段:人力防范、实体防范和技术防范。

安全防范是社会公共安全的一部分,安全防范行业是社会公共安全行业的一个分支。就防范手段而言,安全防范包括人力防范、实体(物)防范和技术防范三个范畴。其中人力防范和实体防范是古已有之的传统防范手段,它们是安全防范的基础。随着科学技术的不断进步,这些传统的防范手段也不断融入新科技的内容。

技术防范的概念是在近代科学技术(最初是电子报警技术)用于安全防范领域并逐渐形成一种独立防范手段的过程中所产生的一种新的防范理念。由于现代科学技术的不断发展和普及应用,“技术防范”的概念也越来越普及,越来越为警察执法部门和社会公众所认可、所接受,以致成为使用频率很高的新词汇,技术防范的内容也随着科学技术的进步而不断更新。在科学技术迅猛发展的当今时代,可以说几乎所有的高新技术都将或迟或早地移植或应用于安全防范工作中。因此,“技术防范”在安全防范中的地位和作用将越来越重要,它将带来安全防范的一次新的革命。

安全防范的三个基本防范要素:探测、延迟与反应。探测、延迟和反应的有关概念如下:

1)探测(Detection):感知显性和隐性风险事件的发生并发出报警。

2)延迟(Delay):延长和推延风险事件发生的进程。

3)反应(Response):组织力量为制止风险事件的发生所采取的快速行动。

在安全防范的三种基本手段中,要实现防范的最终目的,都要围绕探测、延迟、反应这三个基本防范要素开展工作、采取措施,以预防和阻止风险事件的发生。当然,三种防范手段在实施防范的过程中,所起的作用是有不同的。

基础的人力防范手段,是利用人们自身的传感器(眼、耳等感官)进行探测,发现妨害或破坏安全的目标,做出反应,如用声音警告、恐吓、设障、武器还击等手段来延迟或阻止危险的发生,在自身力量不足时还要发出救援信号,以期做出进一步的反应,制止危险的发生或处理已发生的

危险。

实体防范的主要作用在于推迟风险的发生,为“反应”提供足够的时间。现代的实体防范已不是单纯物质屏障的被动防范,而是越来越多的采用高科技的手段,一方面使实体屏障被破坏的可能性变小,增长延迟时间;另一方面也使实体屏障本身增加探测和反应的功能。

技术防范手段可以说是人力防范手段和实体防范手段的功能延伸和加强,是对人力防范和实体防范在技术手段上的补充和强化。它要融入人力防范和实体防范之中,使人力防范和实体防范在探测、延迟、反应三个基本要素中不断地增加高科技的含量,不断提高探测能力、延迟能力和反应能力,使防范手段真正起到作用,达到预期的目的。例如,各种高科技的技术防范产品、系统的应用,都离不开实体防护设施,都要靠高素质的操作人员和高水平的组织管理才能充分发挥高科技的威力。

在安全防范工作中,或安全防范工程的设计、建设过程中,必须坚持“技防、物防、人防相结合”、“探测、延迟、反应相协调”的原则。如果背离了这个原则,就难以做好安全防范工作,所设计的系统、所完成的工程也很难达到预期的防范效果。

探测、延迟和反应三个基本要素在工程设计中必须综合考虑、相应协调,它们之间是相互联系、缺一不可的关系。一方面,探测要准确无误,延迟时间长短要合适,反应要迅速;另一方面,它们之间必须符合下列公式的要求,即

$$T_{\text{探测}} + T_{\text{反应}} \leq T_{\text{延迟}}$$

## 3 安全防范技术的专业体系与安全防范行业的标准体系

### 3.1 安全防范技术的专业体系

安全防范技术是一门多学科交叉和融合的综合应用科学技术,通常包括三大技术领域:物理防范技术(Physical Protection)、电子防范技术(Electronic Protection)、生物统计学防范技术(Biometric Protection)。

物理防范技术通常也称为实体防范技术,主要是指利用各类建(构)筑物、实体屏障以及与其配套的各种实物设施、设备和产品(如门、窗、柜、锁具等)构成系统,以防范安全风险;这类防范技术与建筑科学技术、材料科学与制造工艺技术的发展有着极为密切的关系。

电子防范技术主要是利用各种电子探测设备、有线/无线通信设备、视频监控设备、计算机网络设备等组成系统或网络,以探测和防范安全风险。这类防范技术与探测(传感)技术、自动监控技术、视频与多媒体技术、计算机网络技术、系统集成技术等科学技术的发展关系极为密切。

生物统计学防范技术是法庭科学的物证鉴定技术和电子信息科学的模式识别技术相结合的产物,主要是指利用人体的生物学特征(如指纹、掌型、虹膜、声纹、面像等)进行个体识别,从而防范安全风险的一种综合性应用科学技术;这



类防范技术与现代生物科学、生物工程技术、现代信息科学技术以及法庭科学技术的发展关系极为密切。

安全防范技术作为社会公共安全科学技术的一个分支,根据国内外安全防范的技术现状和未来发展趋势,可以按其工程应用的特点将其专业粗略地进行如下分类:

- 1) 实体防护技术。
- 2) 防爆安检技术(含违禁品检测)。
- 3) 入侵探测与防盗报警技术。
- 4) 视频探测与监控报警技术(含视频智能分析)。
- 5) 出入口目标识别与控制技术(含生物特征识别、楼宇可视对讲与门禁系统)。
- 6) 视音频信息、报警信息传输、控制、显示、存储技术。
- 7) 移动目标反劫防盗报警技术。
- 8) 智能建筑与社区安防技术。
- 9) 系统集成与社会救助应急报警技术。
- 10) 安全防范工程设计、施工与系统检测技术。

需要指出的是,由于安全防范技术是正在发展中的新兴技术,因此上述专业的划分只具有相对的意义。实际上,上述各项专业技术本身,都涉及诸多不同的自然科学和技术的门类。它们之间既互相交叉又互相渗透,专业的界限会越来越不明显,同一技术同时应用于不同专业的情况,也会越来越多。

### 3.2 安全防范行业的标准体系

安全防范工作既是一项重要的公安业务,又是一个相对独立的社会经济产业,这就是安全防范工作的两大行业特点或属性。为了规范和指导安全防范技术、安全防范行业的健康发展,我国安全防范行业于 2000 年制定了较为完善的标准体系。该标准体系既包括安全防范的产品标准、系统标准、工程建设标准,又包括安全防范行业的管理标准、服务标准和技术基础标准。该标准体系包括约 300 多个标准元素,按四层架构分别设置为:基础(通用)标准、专业标准、门类标准和产品(工程、服务)标准。

## 第2章 安全防范产品、系统与系统集成

### 1 安全防范产品

在经济技术领域,所谓“产品”就是企业制造的任何制品或制品的组合。

在安全防范行业,所谓安全防范产品是特指用于防止国家、集体、个人财产以及人身安全受到侵害的一类专用器材、设备或软件。现阶段主要包括:入侵探测与报警设备、视频探测与监控设备、出入口探测与控制设备、报警信息、视音频信息传输/控制/显示/记录设备、实体防护设备、防爆安检设备、固定目标和移动目标防盗(防劫)报警设备、相应的软件以及由它们构成的产品或系统等。我国社会公共安全行业于2002年发布了《安全技术防范产品分类与代码》行业标准(GA/T 405—2002)。

### 2 系统与系统集成

#### 2.1 系统的基本概念

“系统”(system)一词源自古希腊语,有“共同”和“给以位置”的含义<sup>1</sup>。在科学技术领域和社会经济领域,“系统”一词含义非常广泛,不同专业内,又有不同的界定。最具权威的解释是我国系统工程创始人钱学森对“系统”的定义。钱学森在《系统工程论》中指出:把极其复杂的研制或管理对象称为“系统”,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分组合成的具有特定功能的有机整体,而且这个“系统”本身又是它所从属的一个更大的系统的组成部分。由此可见,系统是一个相对的概念,即它可以构成一个独立的系统,它也可以是从属另一个系统的分系统。

人们为了研究系统,按一定的基准(或界定条件)对它进行了分类。

1) 按系统的复杂程度分类,可分为微型系统、小型系统、中型系统、大型系统和巨型系统。

2) 按系统与外部环境的关系分类,可分为封闭系统和开放系统。与外部环境有信息交换的系统一般是开放系统,反之为封闭系统。

3) 按系统的适用范围分类,可分为通用系统和专用系统。通常,通用系统一般是对应开放系统,专用系统一般是对应封闭系统。但它们不是等同关系,是两个不同的概念。

上述三种分类可以组成多种系统。

#### 2.2 系统集成的基本概念

在当今的信息时代,说到系统,就必然要说到系统集成。所谓系统集成,简言之就是要集成一个系统。它源于计算机网络技术的应用和发展。具体的讲,所谓系统集成,是指根据应用的需要,将硬件平台、网络设备、系统软件、工具软件及相应的应用软件等集成为具有优良性能价格比的适应开放环境与资源共享的大型或巨型信息系统的全过程。系统集成商将为用户提供从方案设计开始,经过产品优选、网络设计、软件平台设置、应用软件开发到售后培训、咨询和技术保障等的一系列服务,使用户能得到一体化的解决方案,即英文中的“Integrated System Solutions”。

显而易见,系统集成的本质就是达到资源的共享,就是要实现最优化的统筹设计。系统集成的全过程不只为用户提供一些具体设备和产品的简单组合,而是通过这些设备和产品向用户提供其应用的一种方案或一种设想,来满足用户对功能的要求,体现出系统集成后的附加值。

#### 2.3 系统集成的主要内容

系统集成的主要内容可简单地分为以下几种:

(1) 从信息的角度看系统集成

从信息的角度看,系统集成应涉及信息生命周期的各个阶段。

1) 信息的收集、加工、处理、存储。

2) 信息通过各种途径的传递与传输。

3) 信息的使用与消费。

(2) 从技术的角度看系统集成

因为信息的生命周期分三个阶段,信息源又分为多种不同类型,所以系统集成所涉及的技术是相当广泛的。系统集成一般应涉及以下技术:

1) 数据采集、处理技术。信息的多样性要求采用不同的技术,使它们“数据化”。各种文字、图形、图像、语音等,要分别采用键盘输入、图形扫描、语言识别、OCR文字识别、图形与图像信息的采集、处理与识别等技术。有许多数据的获得还要采用传感器和数据采集技术。

2) 计算机硬件及软件平台,包括数据库。数据的多媒体化也对数据技术的发展提出新的要求。系统集成商不必自己去开发计算机硬件、系统软件及数据库,但必须对这一领域的技术发展了如指掌。

3) 多媒体的传输技术,包括局域网与广域网。

网络的结构化、高速化、智能化的发展趋势,使局域网从以服务器为中心的传统共享介质式,向以HUB为中心的交换式发展。通信技术更是发展迅速,帧中继、ATM、TCP/IP无线数据传输等技术,都为信息的传递提供了强有力的手段。

4) 信息还原技术,数据输出,包括语言、文字、图形、图像等的输出、复制、存储等。

### 3 安全防范系统

根据GB 50348—2004的定义,所谓安全防范系统,是指以维护社会公共安全为目的,运用安全防范产品和其他相关产品所构成的入侵报警系统、视频安防监控系统、出入口控制系统、防爆安全检查系统等;或由这些系统为子系统组合或集成的电子系统或网络。

一般而言,一个完整的安全防范系统,通常都是一个集成系统;它可以是一个小型系统,也可以是一个中型系统或大型(巨型)系统;可以是一个封闭系统,也可以是一个开放的系统。

一个较完整的安全防范系统的构成,通常包括安全管理子系统和若干个相关子系统。安全管理子系统是系统的集成管理平台,按其集成度的高低,安全防范系统可分为集成式、组合式、分散式三种类型;相关子系统包括入侵报警系统、视频安防监控系统、出入口控制系统、停车库(场)安全管理系统、防爆安全检查系统和其他子系统等。

## 第3章 安全防范系统的基本构成

### 1 入侵报警系统

系统应根据被防护对象的使用功能及安全防范管理的要求,对设防区域的非法入侵、盗窃、破坏和抢劫等,进行实时有效的探测和报警。高风险防护对象的入侵报警系统应有报警复核(声音)功能。系统不得有漏报警,误报警率应符合工程合同书的要求。

入侵报警系统的设计应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)、《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)、《入侵报警系统技术要求》(GA/T 368—2001)等相关标准的要求。入侵报警系统的构成示意图、原理示意图,如图10.3-1~图10.3-3所示。

### 2 视频安防监控系统

系统应根据建筑物的使用功能及安全防范管理的要求,对必须进行视频安防监控的场所、部位、通道等进行实时、有效的视频探测、视频监控、图像显示、记录与回放,宜具有视频入侵报警功能。与入侵报警系统联合设置的视频安防监控系统,应有图像复核功能,宜有图像复核加声音复核功能。

视频安防监控系统的设计应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)、《视频安防监控系统工程设计规范》(GB 50395—2007)、《视频安防监控系统技术要求》(GA/T 367—2001)等相关标准的要求。视频安防监控系统的构建模式,如图10.3-4~图10.3-7所示。

### 3 出入口控制系统〔含门禁系统、访客对讲(可视)系统〕

系统应根据建筑物的使用功能和安全防范管理的要求,对需要控制的各类出入口,按各种不同的通行对象及其准入级别,对其进、出实施实时控制与管理,并应具有报警功能。

出入口控制系统的设计应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)、《出入口控制系统工程设计规范》(GB 50396—2007)、《出入口控制系统技术要求》(GA/T 394—2002)等相关标准的要求。

出入口控制系统的构建模式,如图10.3-8~图10.3-11所示。

### 4 防爆安全检查系统

系统应能对规定的爆炸物、武器或其他违禁物品进

行实时、有效的探测、显示、记录或报警。系统的探测率、误报率和人员物品的通过率应满足国家现行相关标准的要求;探测不应对人体和物品产生伤害,不应引起爆炸物起爆。

### 5 电子巡查系统

系统应根据建筑物的使用功能和安全防范管理的要求,按照预先编制的保安人员巡查程序,通过信息阅读器或其他方式对保安人员巡逻的工作状态(是否准时、是否遵守顺序等)进行监督、记录,并能对意外情况及时报警。

电子巡查系统的设计应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)、《电子巡查系统技术要求》(GA/T 644—2006)等相关标准的要求。

电子巡查系统的构建模式,如图10.3-12所示。

### 6 停车库(场)安全管理系统

系统应根据建筑物的使用功能和安全防范管理的需要,对停车库(场)的车辆通行道口实施出入控制、监视、行车信号指示、停车管理及车辆防盗报警等综合管理。

停车库(场)安全管理系统系统的设计应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)、《停车库(场)安全管理系统技术要求》(GA/T 761—2008)等相关标准的要求。

停车库(场)安全管理系统的构建模式,如图10.3-13和图10.3-14所示。

### 7 安全防范系统的安全管理(子)系统

安全防范系统的集成设计,主要是指其安全管理(子)系统的设计。

安全防范系统的安全管理(子)系统的设计内容包括安全防范总系统对其子系统的集成设计和总系统与上一级管理系统的集成设计。

安全管理系统设计应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)的相关规定,见本篇4.2.2设计要素3、4.3.1功能设计1和4.3.9集成设计等相关内容。

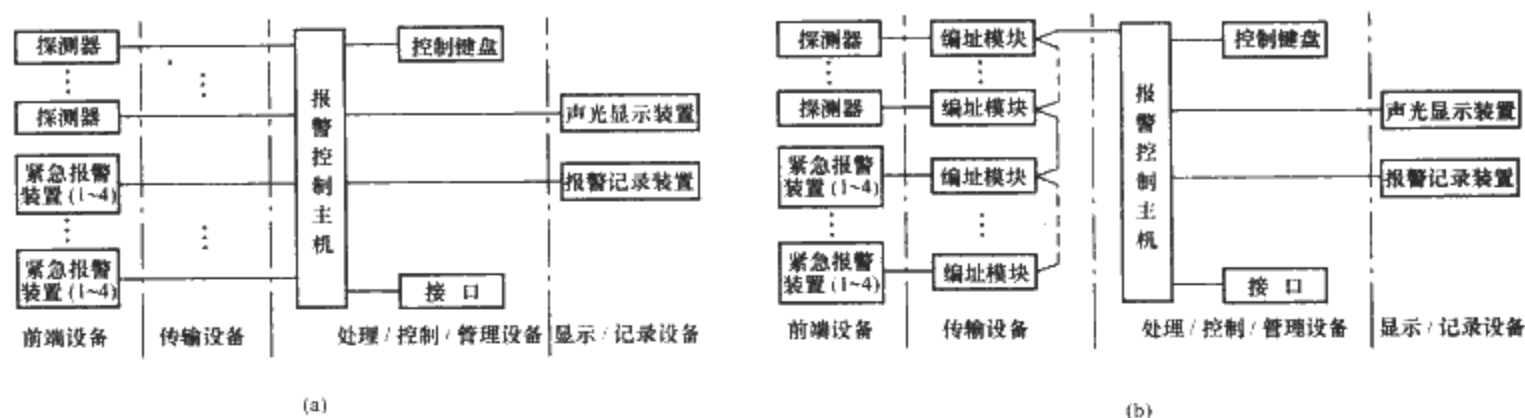


图 10.3-1 入侵报警系统构成示意图  
(a) 分线制模式；(b) 总线制模式

注：1. 入侵报警系统通常由前端设备（包括探测器和紧急报警装置）、传输设备、处理/控制/管理设备和显示/记录设备四个部分构成。  
2. 分线制系统构成：探测器、紧急报警装置通过多芯电缆与报警控制主机之间采用一对一专线并联。  
3. 总线制系统构成：探测器、紧急报警装置通过其对应的编址模块与报警控制主机之间采用报警总线（专线）相连。

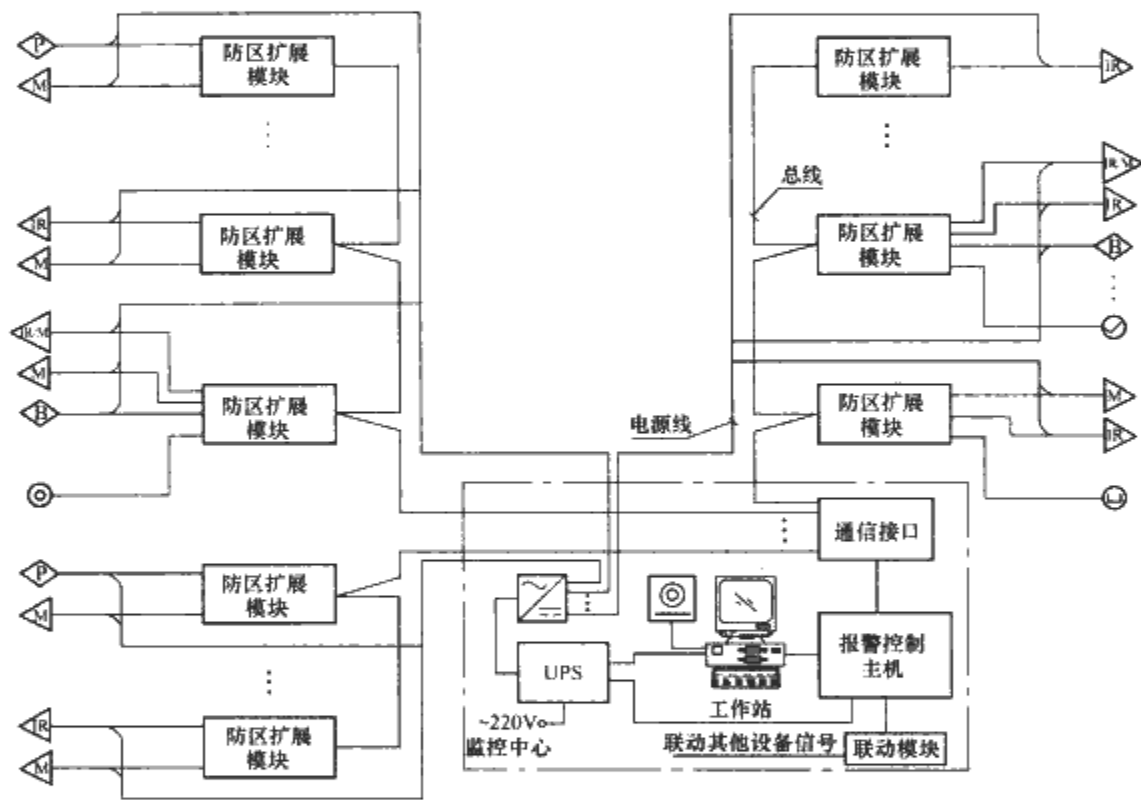


图 10.3-2 入侵报警系统原理示意图

注：1. 本图为总线制入侵报警系统，总线的长度不宜超过 1200m。  
2. 当探测器与报警控制主机距离较近（经验数值 100m），且探测器较多时，探测器的供电宜采用图 10.4-2 中集中供电方案（二）的供电方式。  
3. 系统可根据报警区域联动开启相关区域的照明和声光报警器。  
4. 备用电源的切换时间应满足报警控制主机的供电要求。  
5. 磁开关、紧急按钮开关等前端设备为无源设备。  
6. 防区扩展模块是多个编址模块集。

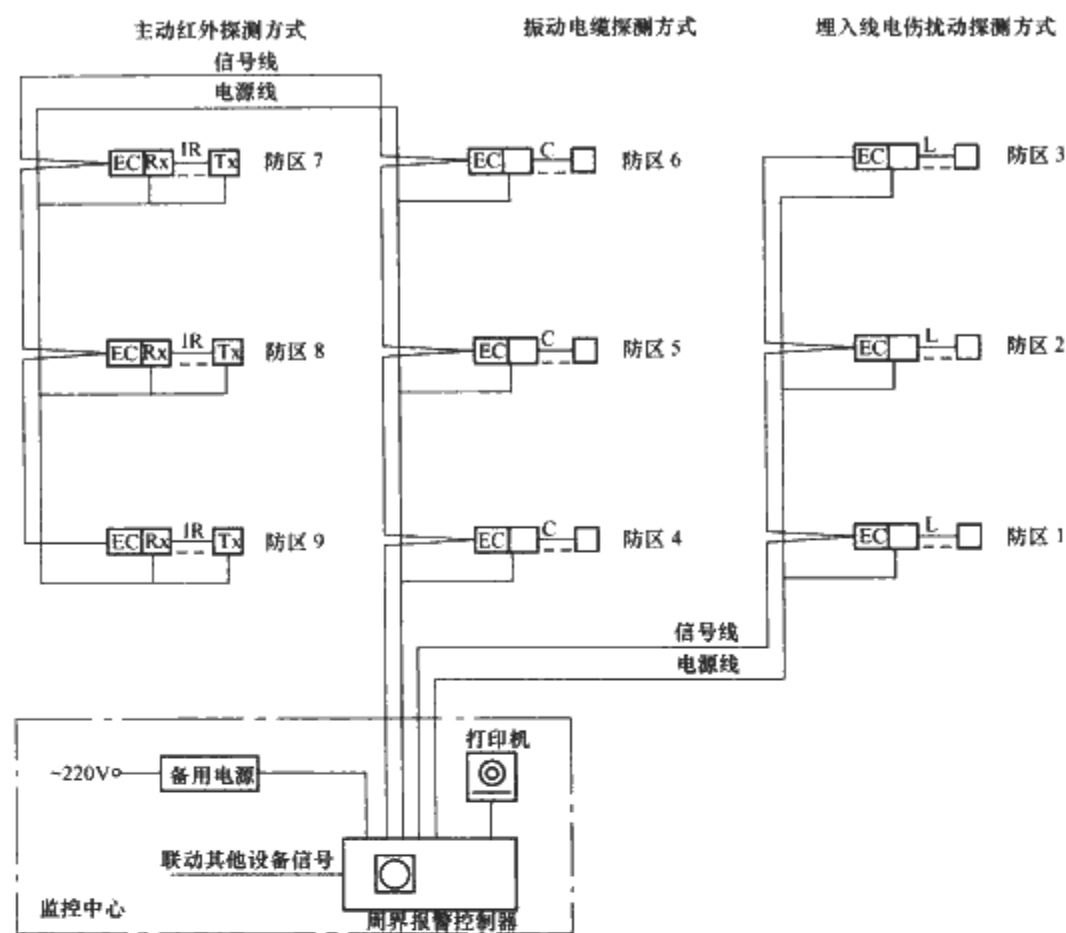


图 10.3-3 周界防护入侵报警系统原理示意图

注：1. 本图为总线制周界防护电子报警系统。EC 为编址模块，Tx 为红外发射器，Rx 为红外接收器。  
2. 备用电源的切换时间应满足周界报警控制器的供电要求。  
3. 前端设备的选用、选型由工程设计确定。

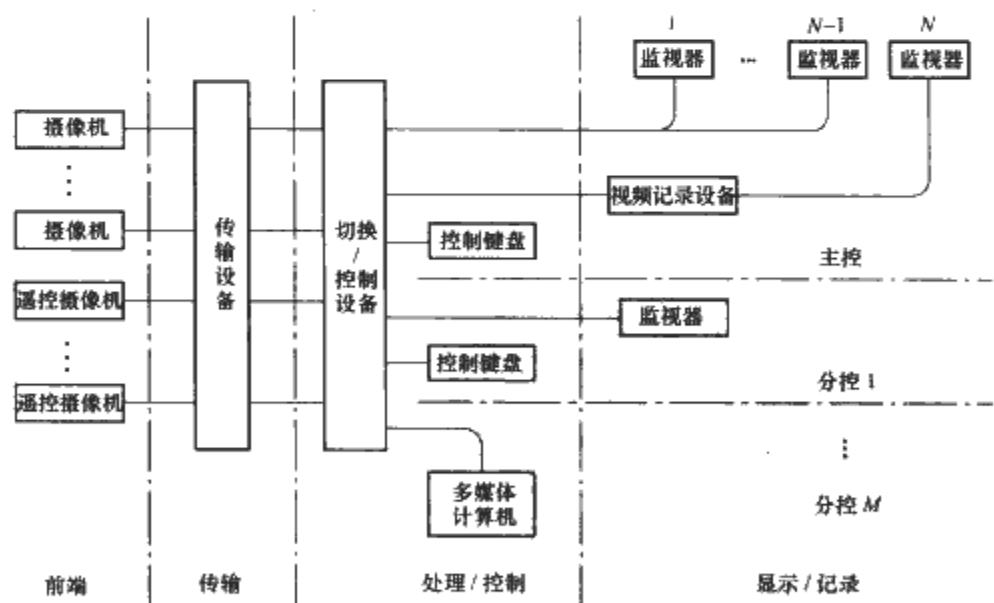


图 10.3-4 视频安防监控系统构成示意图，矩阵切换模式

注：1. 矩阵切换模式可以根据授权，通过任一控制键盘，将任意指定前端视频输入信号切换到任意指定输出的监视器上，并可编制各种时序。  
2. 根据授权，控制键盘可对前端摄像机进行 PTZ 等的遥控操作。  
3. 摄像机为具有模拟视频输出的摄像机。

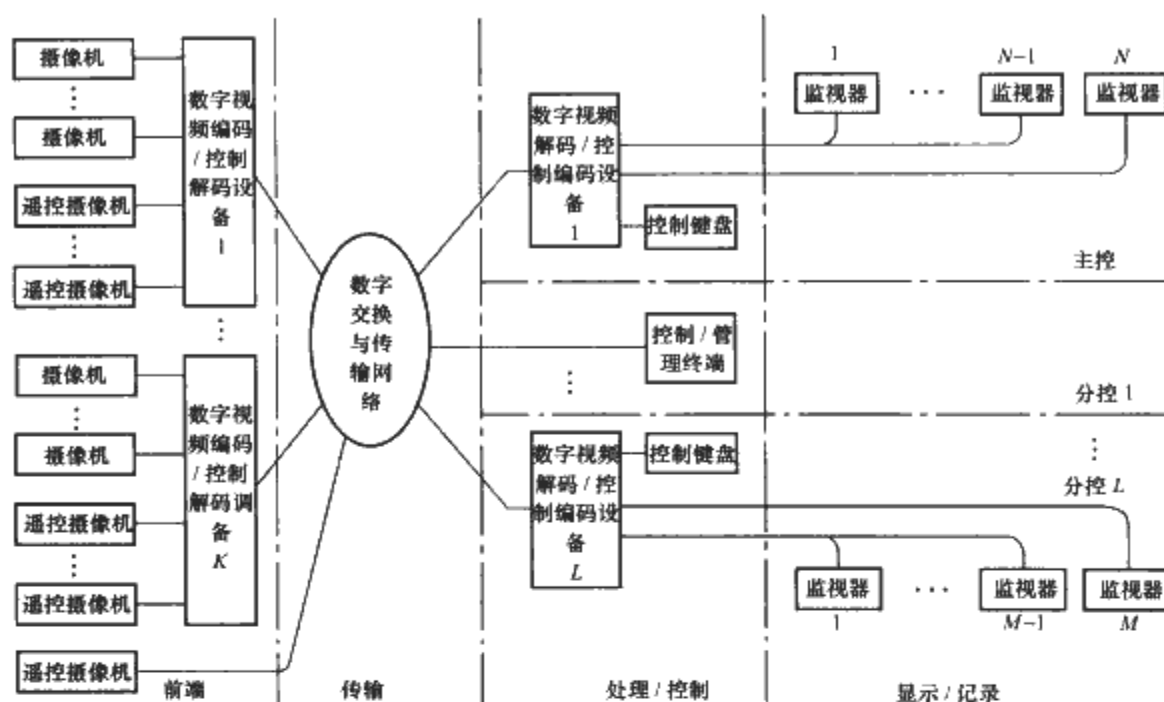


图 10.3-5 视频安防监控系统构成示意图：数字视频网络虚拟交换/切换模式

注：1. 数字视频网络虚拟交换/切换模式是数字视频监控的基本模式。

2. 模拟输出的摄像机增加数字视频编码功能，被称作网络摄像机、数字视频前端也可能是别的数字摄像机。

3. 数字视频传输网络可以是以太网和 DDN、SDH、WI-MAX 等传输网络。在公共网络传输时应增加信息安全加密等措施。

4. 数字视频编码/控制解码设备可采用解码的 DVR 或视频服务器。

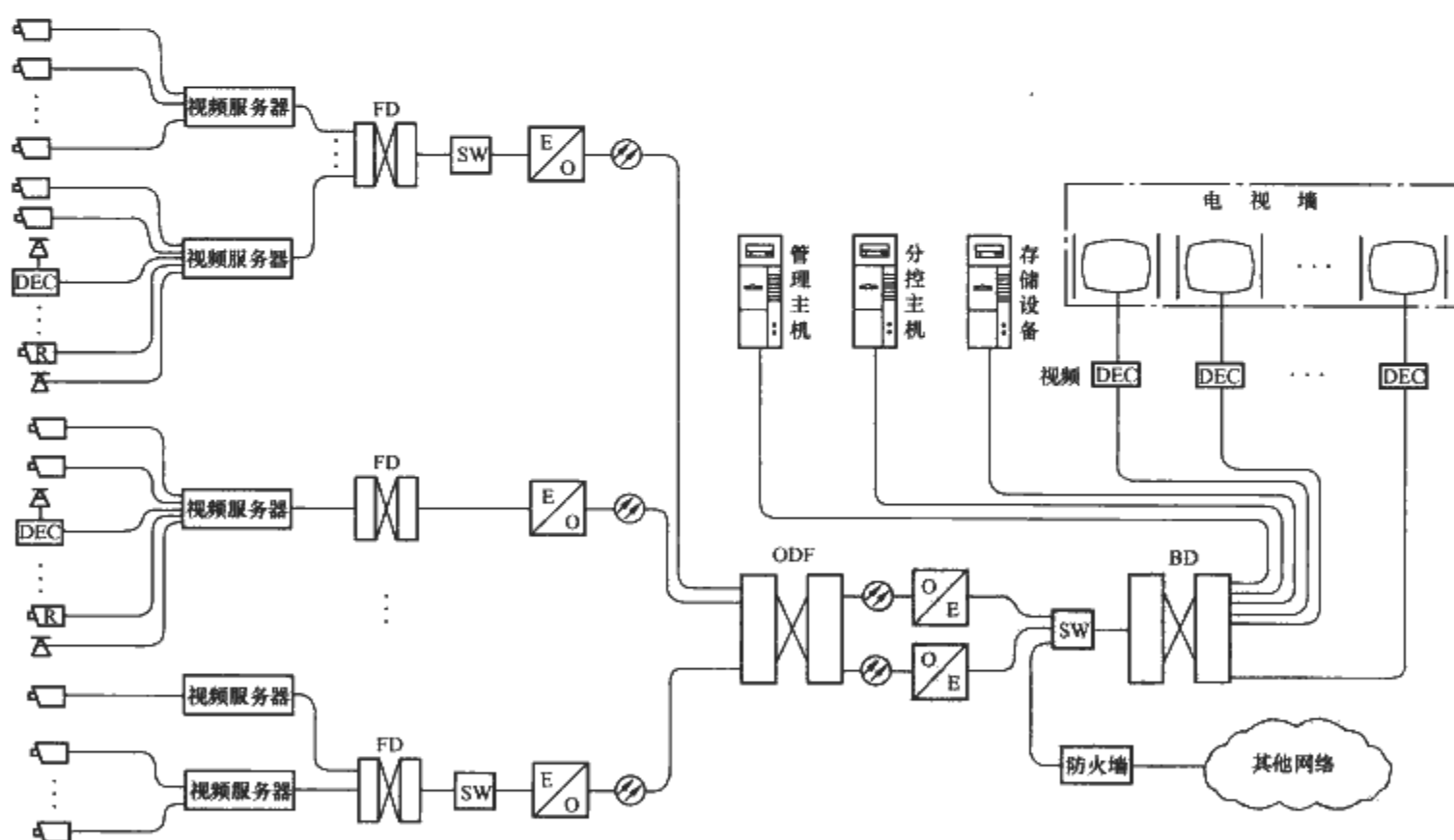


图 10.3-6 视频安防监控系统原理示意图（一）

注：1. 本系统为模拟+数字视频网络虚拟交换/切换模式的视频监控系统，摄像机采用具有模拟视频信号输出的摄像机。

2. 本系统采用集中存储方式。若采用分布存储方式，要求视频服务器有存储功能，或采用具有良好数字图像传输功能的数字录像机。



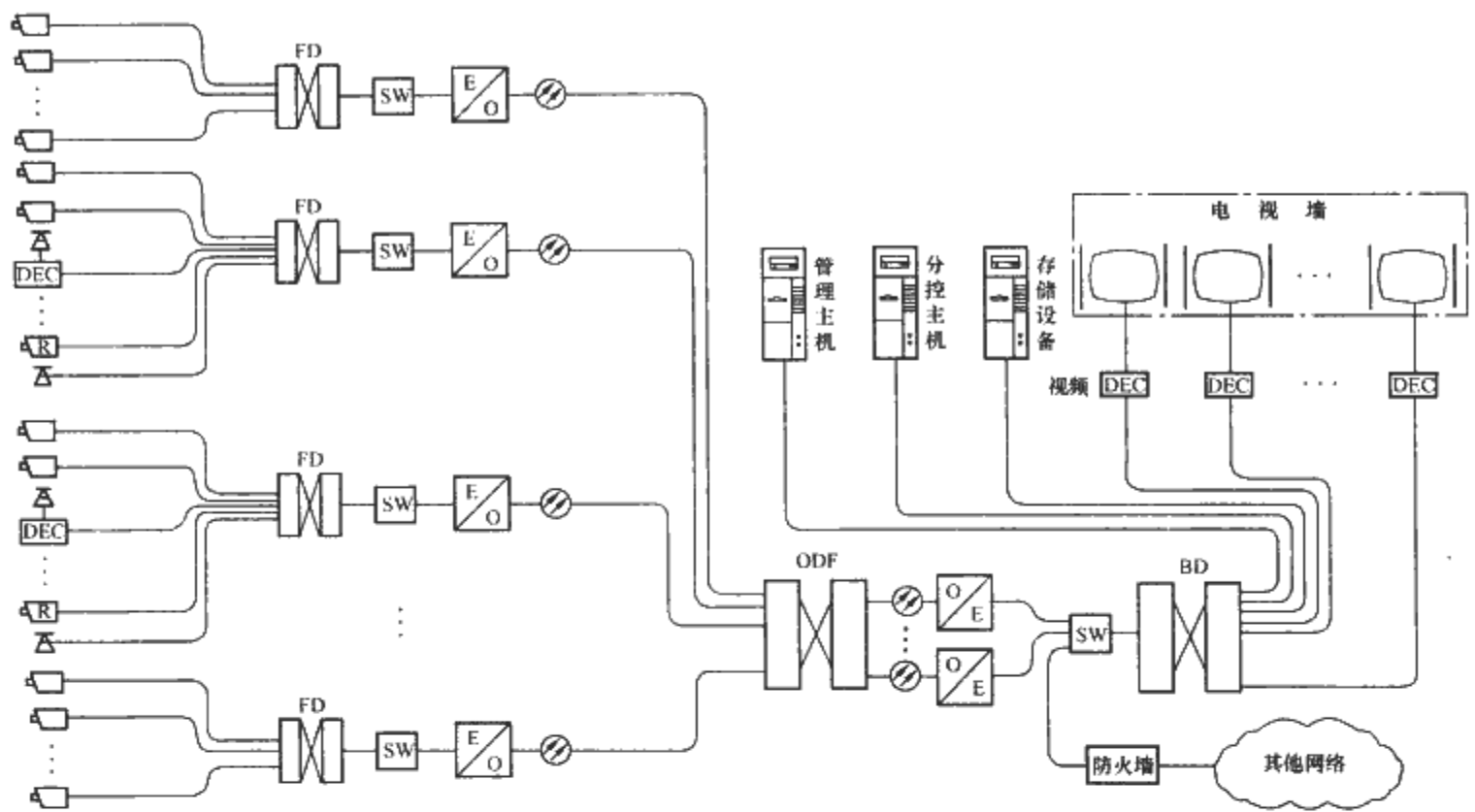


图 10.3-7 视频安防监控系统原理示意图 (二)

注：1. 本系统为数字视频网络虚拟交换/切换模式的视频监控系统，摄像机采用具有数字视频信号输出的网络摄像机。  
2. 本系统采用集中存储方式。若采用分布存储方式，要求增加具有本地数字视频数据存储功能的视频服务器或数字录像机。

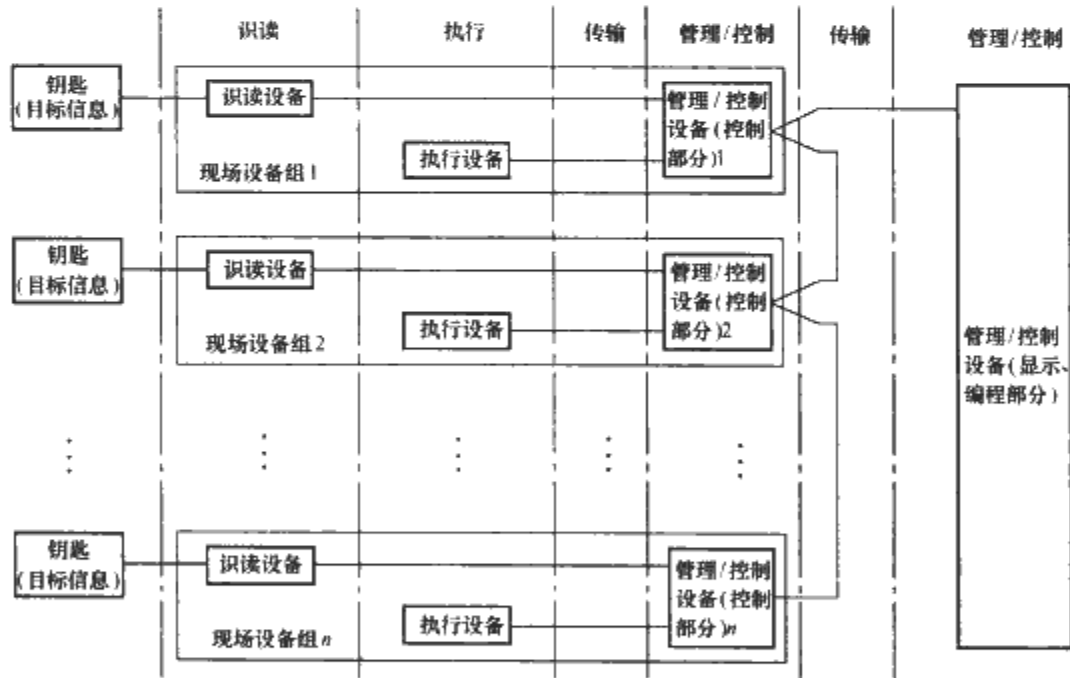


图 10.3-8 出入口控制系统构成示意图

注：出入口控制系统的现场控制设备通过联网数据总线与出入口管理中心的显示、编程设备相连，每条总线在出入口管理中心只有一个网络接口。

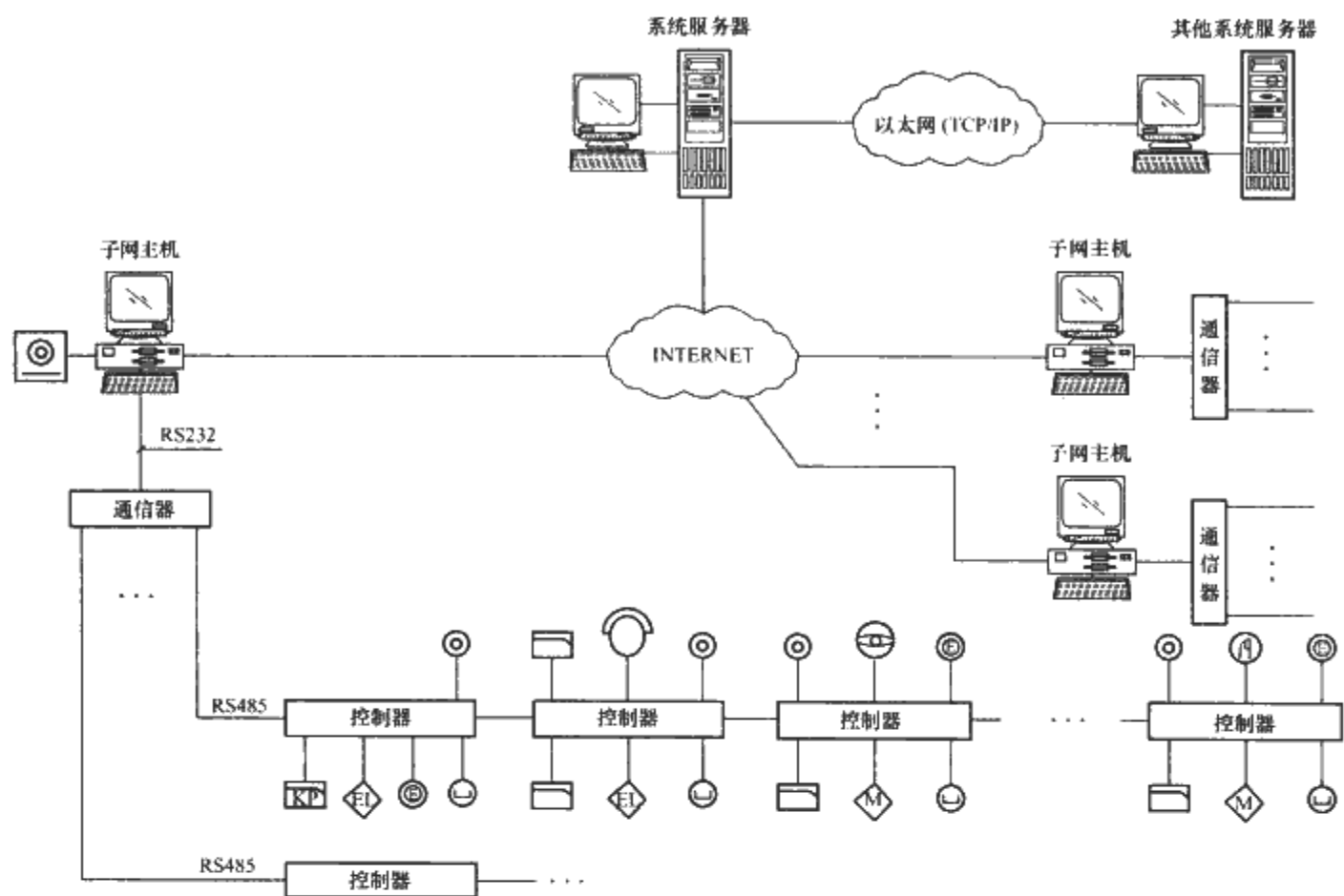


图 10.3-9 出入口控制系统原理示意图

- 注：1. 本图为基于网络的系统。系统服务器与各子网主机之间通过网络连接，控制器与控制器之间通过 RS485 总线连接。
2. 通信器的通信端口数量根据所连接的总线数量确定。
3. 前端设备的选用、选型，由工程设计确定。

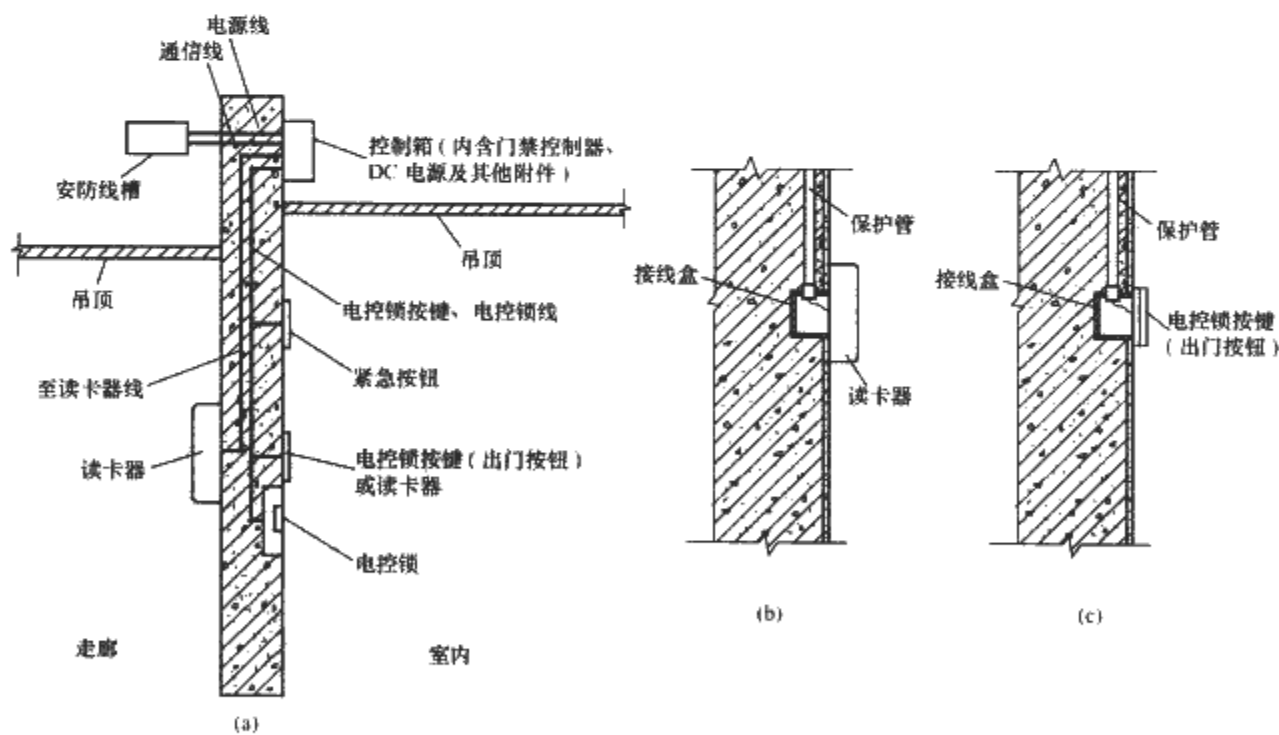


图 10.3-10 出入口控制设备安装示意图

(a) 出入口控制设备、线缆示意图；(b) 读卡器安装示意图；(c) 电控锁按钮安装示意图

- 注：1. 设备尺寸以工程选用产品为准。
2. 安装高度参见《国家建筑标准设计图集》06SX503，P60~62。

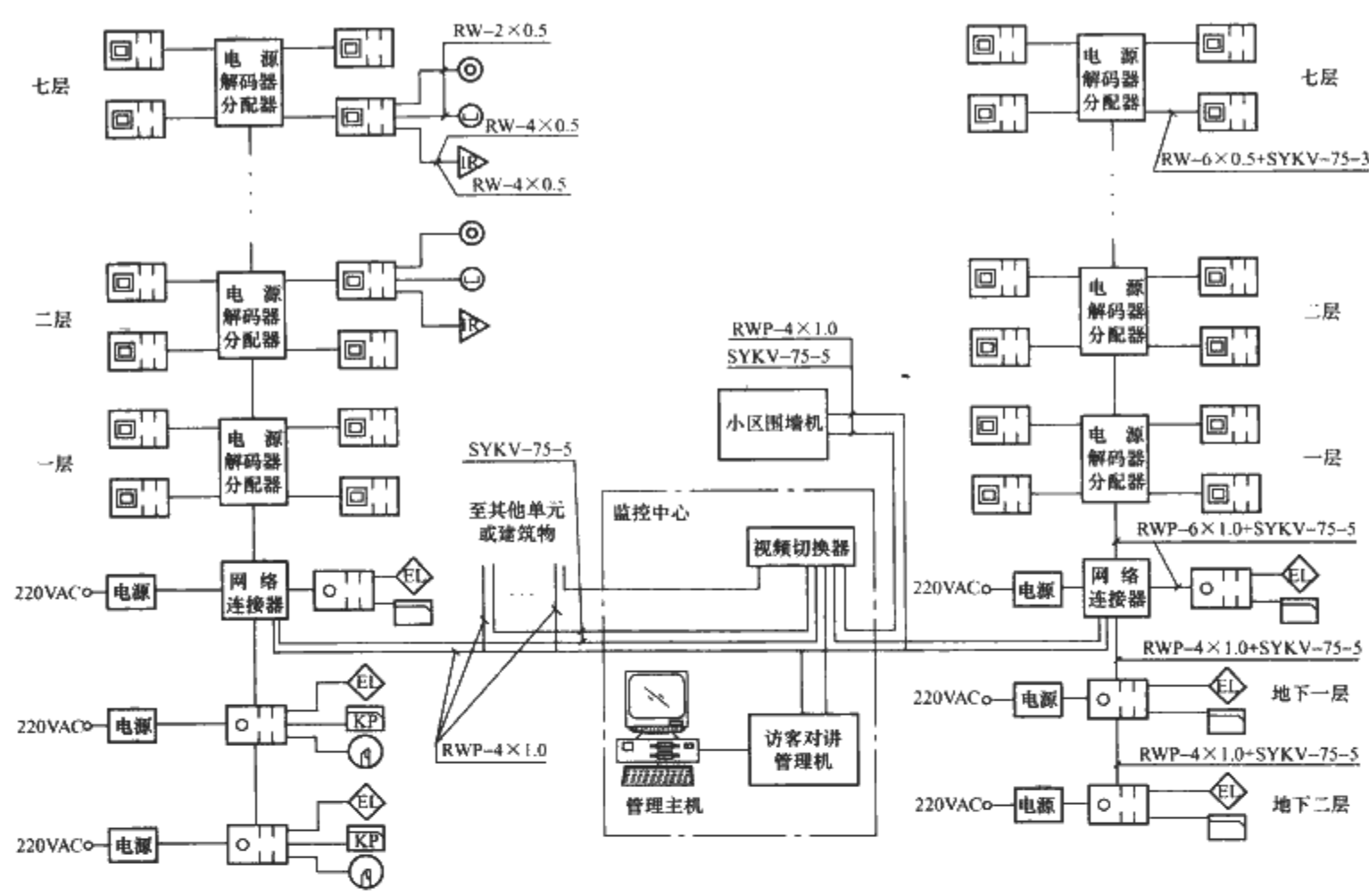


图 10.3-11 访客对讲（可视）系统原理示意图

- 注：1. 本图为联网总线型对讲（可视）系统，以地上七层地下两层为例，地上每层以四户为例。为各层提供 220V AC 电源。  
2. 系统具有访客对讲（可视）、家居报警功能。  
3. 图中线缆型号、规格仅供参考，应根据工程设计确定。

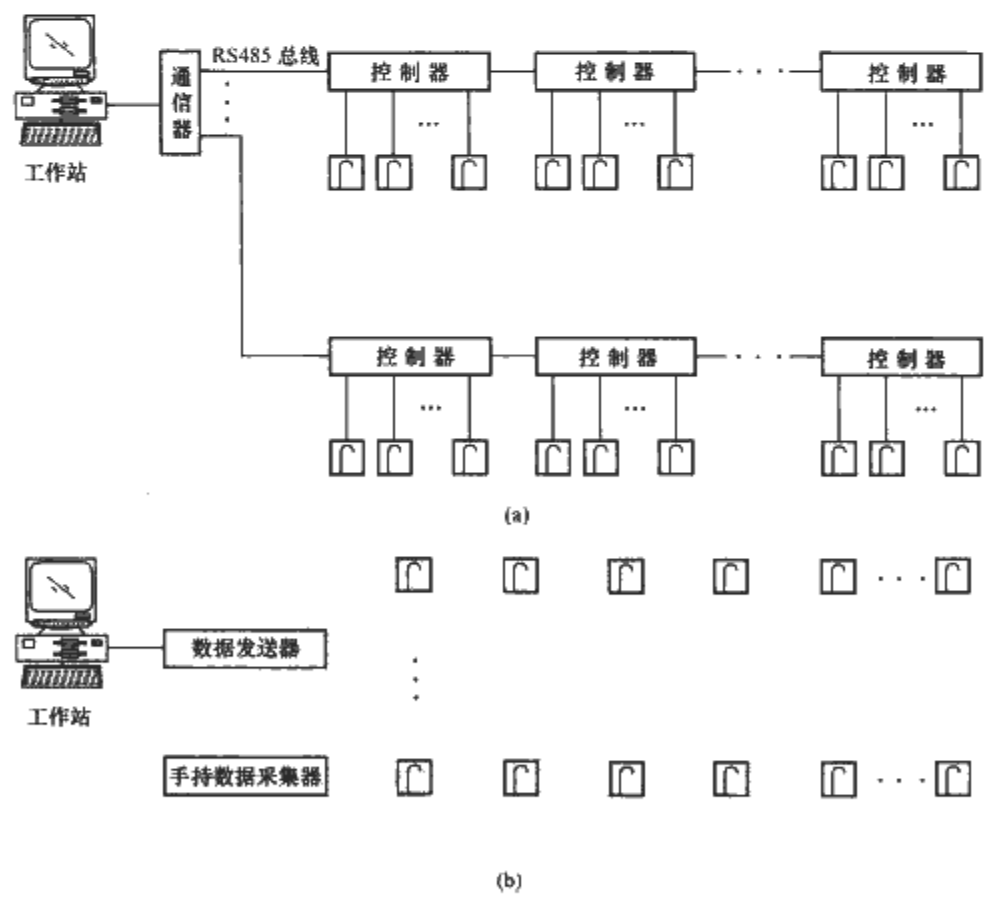


图 10.3-12 电子巡查系统原理示意图

(a) 在线式电子巡查系统；(b) 离线式电子巡查系统

- 注：1. 在线式电子巡查系统中，巡更点处设置有读卡器或开关按钮，巡更人员通过刷卡或按钮进行确认。控制器的规格及设置应根据读卡器或开关按钮位置及数量确定。  
2. 离线式电子巡查系统中，巡更点处设置有信息钮（存储器芯片），巡更人员通过手持数据采集器读取信息钮中的数据。

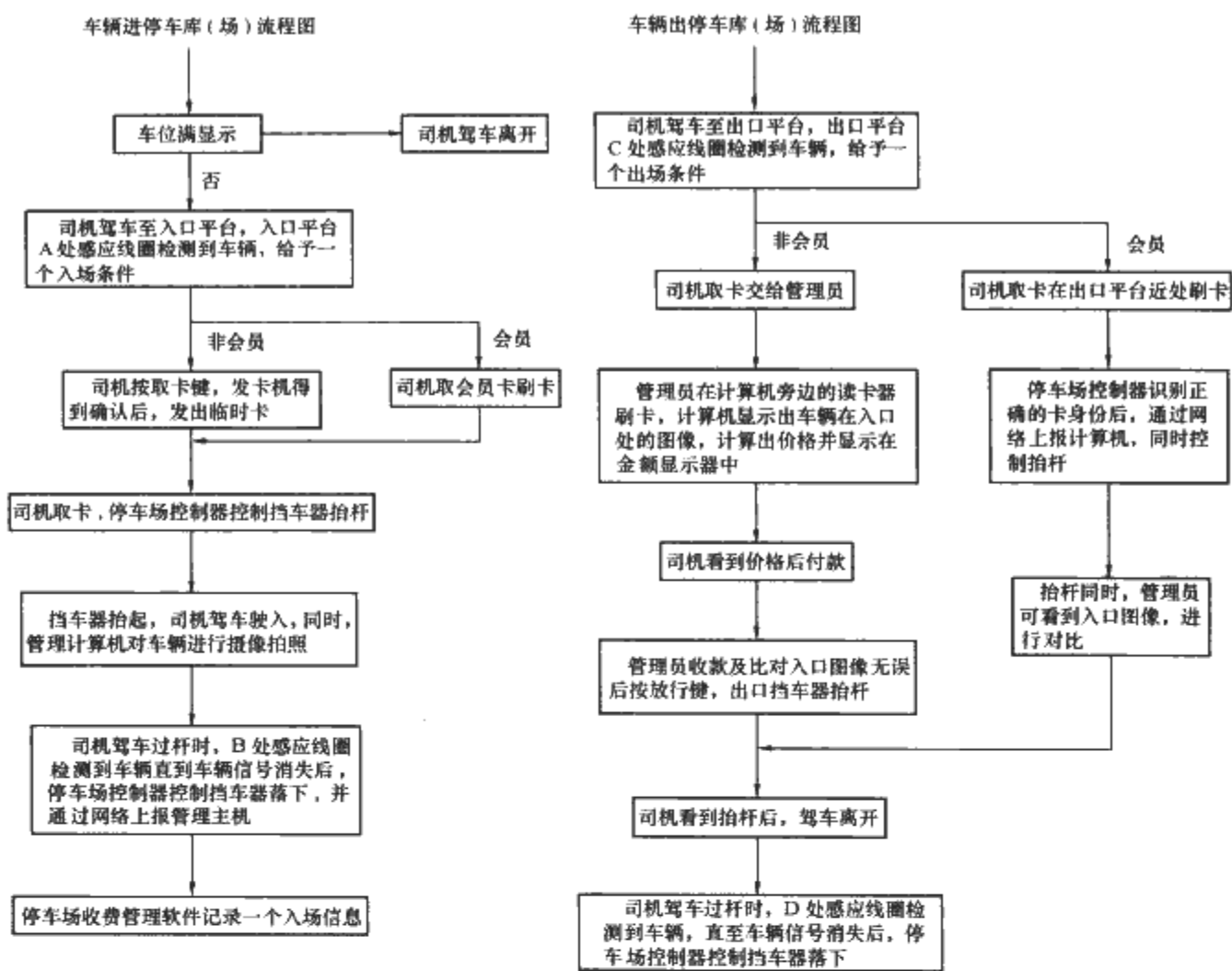


图 10.3-13 停车库(场)安全管理系统管理流程示意图  
注: 本流程是停车库(场)常见的管理流程, 实际工程应用可根据实际需要增减管理环节。

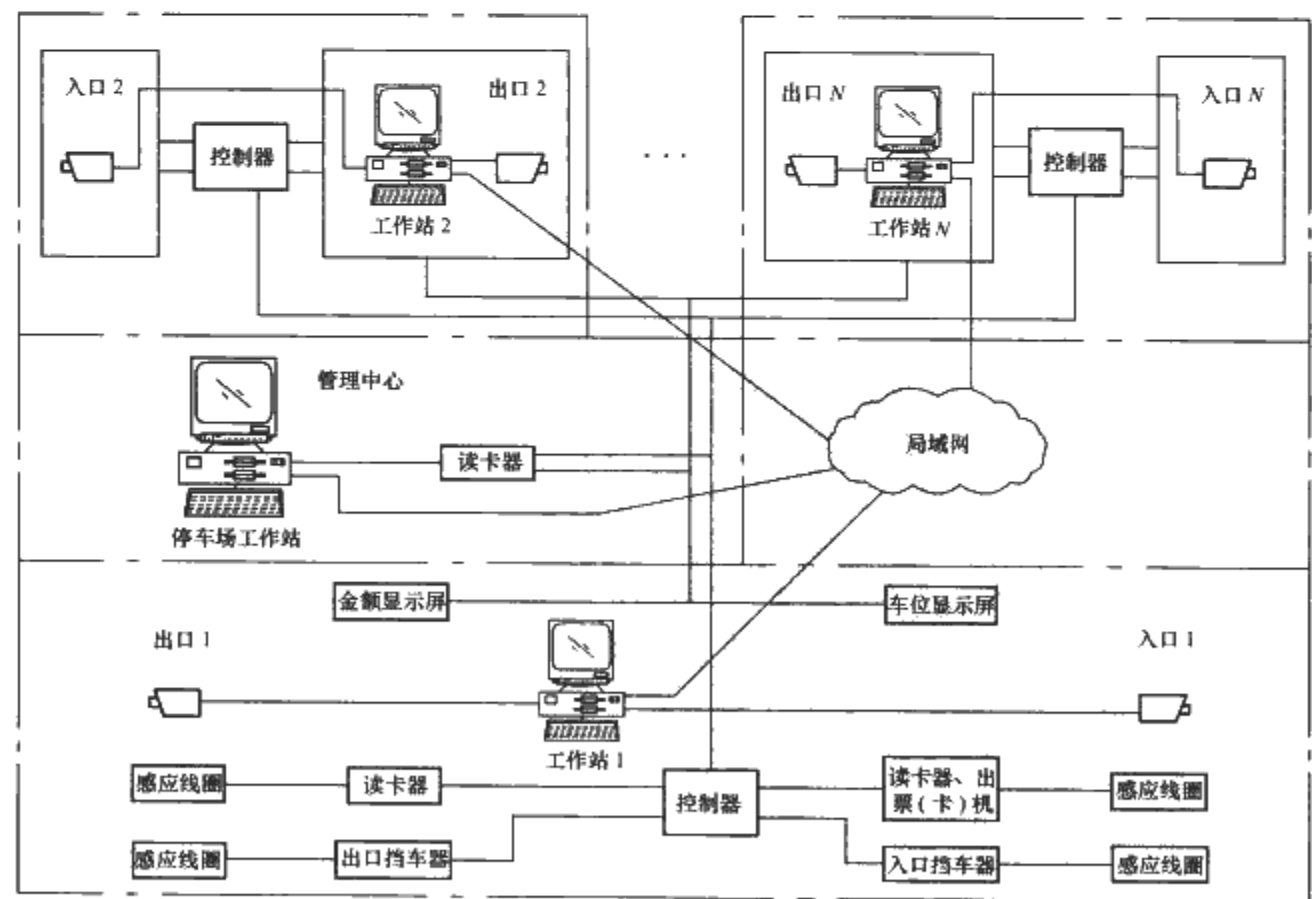


图 10.3-14 停车库(场)安全管理系统原理示意图  
注: 1. 本图为多人多出图像比对式停车库(场)安全管理系统原理示意图。  
2. 入口(出口)2~入口(出口)N的设备同入口(出口)1的设备。

## 第 4 章 安全 防 范 工 程

### 1 安全 防 范 工 程 程 序 与 要 求

安全 防 范 工 程 程 序 与 要 求 应 符 合 《 安 全 防 范 工 程 技 术 规 范 》 (GB 50348—2004)、《 安 全 防 范 工 程 程 序 与 要 求 》 (GA/T 75—1994) 的 有 关 规 定。

#### 1.1 安全 防 范 工 程 程 序

安全 防 范 工 程 程 序 的 流 程 如 图 10.4-1 所 示 (图 中 带 \* 号 者 为 重 点 环 节)。

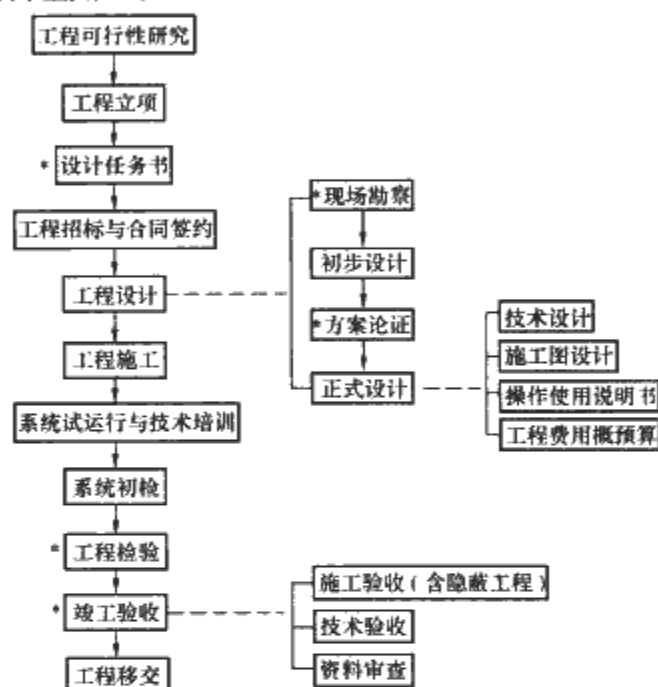


图 10.4-1 安全 防 范 工 程 程 序

#### 1.2 工 程 主 要 环 节 要 求

1) 工程 立 项 与 可 行 性 研 究。安全 防 范 工 程 申 请 立 项 前，须 进 行 可 行 性 研 究。可 行 性 研 究 报 告 批 准 后，工 程 正 式 立 项。可 行 性 研 究 报 告 由 建 设 单 位 (或 委 托 单 位) 编 制。

2) 工 程 设 计 任 务 书 的 编 制。建 设 单 位 根 据 经 批 准 的 可 行 性 研 究 报 告，编 制 工 程 设 计 任 务 书，并 按 照 “工 程 招 标 法” 进 行 工 程 招 标 与 合 同 签 约。

设计 任 务 书 的 主 要 内 容 应 包 括 以 下 内 容：

- ① 任 务 来 源。
- ② 政 府 部 门 的 有 关 规 定 和 管 理 要 求。
- ③ 应 执 行 的 国 家 现 行 标 准。
- ④ 被 防 护 对 象 和 风 险 等 级 与 防 护 级 别。
- ⑤ 工 程 项 目 的 内 容 和 要 求 (包 括 设 计、施 工、调 试、检 验、验 收、培 训 和 维 修 服 务 等)。
- ⑥ 建 设 工 期。
- ⑦ 工 程 投 资 控 制 数 额。
- ⑧ 工 程 建 成 后 应 达 到 的 预 期 效 果。
- ⑨ 工 程 设 计 应 遵 循 的 原 则。
- ⑩ 系 统 构 成。
- ⑪ 系 统 功 能 要 求 (含 各 子 系 统 的 功 能 要 求)。
- ⑫ 监 控 中 心 要 求。

⑬ 建 设 单 位 的 安 全 保 卫 管 理 制 度。

⑭ 接 警、处 警 反 应 速 度。

⑮ 建 筑 物 平 面 图。

3) 现 场 勘 察、方 案 论 证 等 重 点 环 节 的 要 求 见 本 章 1.3、1.4 的 相 关 内 容。

#### 1.3 现 场 勘 察

(1) 安 全 防 范 工 程 设 计 前，应 进 行 现 场 勘 察

(2) 现 场 勘 察 的 内 容 和 要 求

1) 全 面 调 查 和 了 解 被 防 护 对 象 本 身 的 基 本 情 况。

① 被 防 护 对 象 的 风 险 等 级 与 所 要 求 的 防 护 级 别。

② 被 防 护 对 象 的 物 防 设 施 能 力 与 人 防 组 织 管 理 概 况。

③ 被 防 护 对 象 所 涉 及 的 建 筑 物、构 筑 物 或 其 群 体 的 基 本 概 况：建 筑 平 面 图、使 用 (功 能) 分 配 图、通 道、门 窗、电 (楼) 梯 配 置、管 道、供 电 线 路 布 局、建 筑 结 构、墙 体 及 周 边 情 况 等。

2) 调 查 和 了 解 被 防 护 对 象 所 在 地 及 周 边 的 环 境 情 况。

① 地 理 与 人 文 环 境。调 查 了 解 被 防 护 对 象 周 围 的 地 形 地 物、交 通 情 况 及 房 屋 状 况；调 查 了 解 被 防 护 对 象 当 地 的 社 情 民 风 及 社 会 治 安 状 况。

② 气 候 环 境 和 雷 电 灾 害 情 况。调 查 工 程 现 场 一 年 中 温 度、湿 度、风、雨、雾、霜、雪 等 的 变 化 情 况 和 持 续 时 间 (以 当 地 气 候 资 料 为 准)；调 查 了 解 当 地 的 雷 电 活 动 情 况 和 所 采 取 的 雷 电 防 护 措 施。

③ 电 磁 环 境。调 查 被 防 护 对 象 周 围 的 电 磁 辐 射 情 况，必 要 时，应 实 地 测 量 其 电 磁 辐 射 的 强 度 和 辐 射 规 律。

④ 其 他 需 要 勘 察 的 内 容。

3) 按 照 纵 深 防 护 的 原 则，草 拟 布 防 方 案，拟 定 周 界、监 视 区、防 护 区、禁 区 的 位 置，并 对 布 防 方 案 所 确 定 的 防 区 进 行 现 场 勘 察。

① 周 界 区 勘 察。

a. 周 界 形 状、周 界 长 度。

b. 周 界 内 外 地 形 地 物 状 况 等。

c. 提 出 周 界 警 戒 线 的 设 置 和 基 本 防 护 形 式 的 建 议。

② 周 界 内 勘 察。

a. 勘 察 防 区 内 防 护 部 位、防 护 目 标。

b. 勘 察 防 区 内 所 有 出 入 口 位 置、通 道 长 度、门 洞 尺 寸 等。

c. 勘 察 防 区 内 所 有 门 窗 (包 括 天 窗) 的 位 置、尺 寸 等。

③ 施 工 现 场 勘 察。

a. 勘 察 并 拟 定 前 端 设 备 安 装 方 案，必 要 时 应 作 现 场 模 拟 试 验。探 测 器：安 装 位 置、覆 盖 范 围、现 场 环 境；摄 像 机：安 装 位 置、监 视 现 场 一 天 的 光 照 度 变 化 和 夜 间 提 供 光 照 度 的 能 力、监 视 范 围、供 电 情 况；出 入 口 执 行 机 构：安 装 位 置、设 备 形 式。

b. 勘 察 并 拟 定 线 缆、管、架 (桥) 敷 设 安 装 方 案。

c. 勘 察 并 拟 订 监 控 中 心 位 置 及 设 备 布 置 方 案。监 控 中 心 面 积；终 端 设 备 布 置 与 安 装 位 置；线 缆 进 线、接 线 方 式；电 源；接 地；人 机 环 境。

(3) 现场勘察结束后应编制现场勘察报告。现场勘察报告应包括下列内容:

- 1) 进行现场勘察时,对上述相关勘察内容所作的勘察纪录。
- 2) 根据现场勘察记录和设计任务书的要求,对系统的初步设计方案提出的建议。
- 3) 现场勘察报告经参与勘察的各方授权人签字后作为正式文件存档。

#### 1.4 方案论证

工程设计单位应根据工程设计任务书和现场勘察报告进行初步设计。初步设计完成后必须组织方案论证。方案论证由建设单位主持,业务主管部门、行业主管部门、设计单位及一定数量的技术专家参加,对初步设计的各项内容进行审查,对其技术、质量、费用、工期、服务和预期效果做出评价并提出整改措施。整改措施由设计单位和建设单位落实后,方可进行正式设计。

## 2 安全防范工程设计原则与设计要素

### 2.1 设计原则

安全防范工程的设计应遵循下列原则:

- 1) 系统的防护级别与被防护对象的风险等级相适应。
- 2) 技防、物防、人防相结合,探测、延迟、反应相协调。
- 3) 满足防护的纵深性、均衡性、抗易损性要求。
- 4) 满足系统的安全性、电磁兼容性要求。
- 5) 满足系统的可靠性、维修性与维护保障性要求。
- 6) 满足系统的先进性、兼容性、可扩展性要求。
- 7) 满足系统的经济性、适用性要求。

### 2.2 设计要素

#### (1) 安全防范系统的构成

1) 安全防范系统一般由安全管理系统和若干个相关子系统组成。

2) 安全防范系统的结构模式按其规模大小、复杂程度可有多构建模式,按照系统集成度的高低,安全防范系统可分为集成式、组合式、分散式三种类型。

3) 各相关子系统的基本配置,包括前端、传输、信息处理/控制/管理、显示/记录四大单元。不同(功能)的子系统,其各单元的具体内容有所不同。

#### (2) 安全防范系统的相关子系统

现阶段常用的子系统主要包括:入侵报警系统、视频安防监控系统、出入口控制系统、电子巡查系统、停车库(场)安全管理系统以及以防爆安全检查系统为代表的特殊子系统等。

#### (3) 安全防范系统的安全管理系统

1) 集成式安全防范系统的安全管理(子)系统——系统集成子系统。

①安全管理系统应设置在禁区内(监控中心),应能通过统一的通信平台和管理软件将监控中心设备与各子系统设备联网,实现由监控中心对各子系统的自动化管理和监控。安全管理系统的故障应不影响各子系统运行;某一子系统的故障应不影响其他子系统运行。

②应能对各子系统的运行状态进行监测和控制,应能对系统运行状况和报警信息数据等进行记录和显示。应设置足

够容量的数据库。

③应建立以有线传输为主、无线传输为辅的信息传输系统。应能对信息传输系统进行检测,并能与所有重要部位进行有线和/或无线通信联络。

④应设置紧急报警装置。应留有向接处警中心联网的通信接口。

⑤应留有多个数据输入、输出接口,应能连接各子系统的主机,应能连接上位管理计算机,以实现更大规模的系统集成。

#### 2) 组合式安全防范系统的安全管理系统。

①安全管理系统应设置在禁区内(监控中心),应能通过统一的管理软件实现监控中心设备对各子系统的联动管理与控制。安全管理系统的故障应不影响各子系统运行;某一子系统的故障应不影响其他子系统运行。

②应能对各子系统的运行状态进行监测和控制,应能对系统运行状况和报警信息数据等进行记录和显示。可设计必要的数据库。

③应能对信息传输系统进行检测,并能与所有重要部位进行有线和/或无线通信联络。

④应设置紧急报警装置。应留有向接处警中心联网的通信接口。

⑤应留有多个数据输入、输出接口,应能连接各子系统的主机。

#### 3) 分散式安全防范系统的安全管理系统。

①相关子系统独立设置,独立运行。系统主机应设置在禁区内(值班室),系统应设置联动接口,以实现与其他子系统的联动。

②各子系统应能单独对其运行状态进行监测和控制,并能提供可靠的监测数据和管理所需要的报警信息。

③各子系统应能对其运行状况和重要报警信息进行记录,并能向管理部门提供决策所需的主要信息。

④应设置紧急报警装置,应留有向接处警中心报警的通信接口。

## 3 安全防范工程设计内容

### 3.1 功能设计

#### (1) 安全管理系统的功能设计

1) 安全防范系统的安全管理系统由多媒体计算机及相应的应用软件构成,以实现系统的管理和监控。

2) 安全管理系统的功能设计应先进、成熟、能在人机交互的操作系统环境下运行;应使用简体中文图形界面;使操作尽可能简化;在操作过程中不应出现死机现象。如果安全管理系统一旦发生故障,各子系统应仍能单独运行;如果某子系统出现故障,不应影响其他子系统的正常工作。

#### 3) 应用软件应至少具有以下功能:

①对系统操作员的管理。设定操作员的姓名和操作密码,划分操作级别和控制权限等。

②系统状态显示。以声光和/或文字图形显示系统自检、电源状况(断电、欠电压等)、受控出入口人员通行情况(姓名、时间、地点、行为等)、设防和撤防的区域、报警和故障信息(时间、部位等)及图像状况等。

③系统控制。视频图像的切换、处理、存储、检索和回放,云台、镜头等的预置和遥控。对防护目标的设防和撤防,执行机构及其他设备的控制等。

④处警预案。入侵报警时入侵部位、图像和/或声音应



自动同时显示,并显示可能的对策或处警预案。

⑤事件记录和查询。操作员的管理、系统状态的显示等应有记录,需要时能简单迅速的检索和/或回放。

⑥报表生成。可生成和打印各种类型的报表。报警时能实时自动打印报警报告(包括报警发生的时间、地点、警情类别、值班员的姓名、接处警情况等)。

#### (2) 入侵报警系统的设计

1) 应根据各类建筑物(群)和构筑物(群)安全防范的管理要求和环境条件,根据总体纵深防护和局部纵深防护的原则,分别或综合设置建筑物(群)和构筑物(群)周界防护、内(外)区域或空间防护、重点实物目标防护系统。

2) 系统应能独立运行,有输出接口,可用于手动、自动操作以有线和无线方式报警。系统除应能本地报警外,还应能异地报警。系统应能与视频安防监控系统、出入口控制系统等联动。

集成式安全防范系统的入侵报警系统应能与安全防范系统的安防管理系统联网,实现安防管理系统对入侵报警系统的自动化管理与控制。

组合式安全防范系统的入侵报警系统应能与安全防范系统的安防管理系统连接,实现安防管理系统对入侵报警系统的联动管理与控制。

分散式安全防范系统的入侵报警系统,应能向管理部门提供决策所需的主要信息。

3) 系统的前端应按需要选择、安装各类入侵探测设备,构成点、线、面、空间或其组合的综合防护系统。

4) 应能按时间、区域、部位任意编程设防和撤防。

5) 应能对设备运行状态和信号传输线路进行检测,对故障能及时报警。

6) 应具有防破坏报警功能。

7) 应能显示和记录报警部位及有关警情数据,并能提供与其他子系统联动的控制接口信号。

8) 在重要区域和重要部位发出报警的同时,应能对报警现场进行声音复核。

#### (3) 视频安防监控系统的设计

1) 应根据各类建筑物安全防范管理的需要,对建筑物内(外)的主要公共活动场所、通道、电梯及重要部位和场所等进行视频探测、图像实时监视和有效记录、回放。对高风险的防护对象,显示、记录、回放的图像质量及信息保存时间应满足管理要求。

2) 系统的画面显示应能任意编程,能自动或手动切换,画面上应有摄像机的编号、部位、地址和时间、日期显示。

3) 系统应能独立运行。应能与入侵报警系统、出入口控制系统等联动。当与报警系统联动时,能自动对报警现场进行图像复核,能将现场图像自动切换到指定的监视器上显示并自动录像。

集成式安全防范系统的视频安防监控系统应能与安全防范系统的安防管理系统联网,实现安防管理系统对视频安防监控系统的自动化管理与控制。

组合式安全防范系统的视频安防监控系统应能与安全防范系统的安防管理系统连接,实现安防管理系统对视频安防监控系统的联动管理与控制。

分散式安全防范系统的视频安防监控系统,应能向管理部门提供决策所需的主要信息。

#### (4) 出入口控制系统的设计

1) 应根据安全防范管理的需要,在楼内(外)通行门、出入口、通道、重要办公室门等处设置出入口控制装置。系

统应对受控区域的位置、通行对象及通行时间等进行实时控制,并设定多级程序控制。系统应有报警功能。

2) 系统的识别装置和执行机构应保证操作的有效性和可靠性,宜有防尾随措施。

3) 系统的信息处理装置应能对系统中的有关信息自动记录、打印、存储,并有防篡改和防销毁等措施。应有防止同类设备非法复制的密码系统,密码系统应能在授权的情况下修改。

4) 系统应能独立运行。应能与电子巡查系统、入侵报警系统、视频安防监控系统等联动。

集成式安全防范系统的出入口控制系统应能与安全防范系统的安防管理系统联网,实现安防管理系统对出入口控制系统的自动化管理与控制。

组合式安全防范系统的出入口控制系统应能与安全防范系统的安防管理系统连接,实现安防管理系统对出入口控制系统的联动管理与控制。

分散式安全防范系统的出入口控制系统,应能向管理部门提供决策所需的主要信息。

5) 系统必须满足紧急逃生时人员疏散的相关要求。疏散出口的门均应设为向疏散方向开启。人员集中场所应采用平推外开门。配有门锁的出入口,在紧急逃生时,应不需要钥匙或其他工具,亦不需要专门的知识或费力便可从建筑物内开启。其他应急疏散门,可采用内推门加声光报警模式。

#### (5) 电子巡查系统的设计

1) 应编制巡查程序,应能在预先设定的巡查路线中,用信息阅读器或其他方式,对人员的巡查活动状态进行监督和记录,在线式电子巡查系统应在巡查过程发生意外情况时能及时报警。

2) 系统可独立设置,也可与出入口控制系统或入侵报警系统联合设置。独立设置的电子巡查系统应能与安全防范系统的安防管理系统联网,满足安防管理系统对该系统管理的相关要求。

#### (6) 停车库(场)安防管理系统的设计

1) 应根据安全防范管理的需要,设计或选择设计如下功能:

- ①入口处车位显示。
- ②出入口及场内通道的行车指示。
- ③车辆出入识别、比对、控制。
- ④车牌和车型的自动识别。
- ⑤自动控制出入挡车器。
- ⑥自动计费与收费金额显示。
- ⑦多个出入口的联网与监控管理。
- ⑧停车场整体收费的统计与管理。
- ⑨分层的车辆统计与在位车显示。
- ⑩意外情况发生时向外报警。

2) 宜在停车库(场)的入口区设置出票机。

3) 宜在停车库(场)的出口区设置验票机。

4) 系统可独立运行,也可与安全防范系统的出入口控制系统联合设置。可在停车库(场)内设置独立的视频安防监控系统,并与停车库(场)安防管理系统联动;停车库(场)安防管理系统也可与安全防范系统的视频安防监控系统联动。

5) 独立运行的停车库(场)安防管理系统应能与安全防范系统的安防管理系统联网,并满足安防管理系统对该系统管理的相关要求。

#### (7) 特殊安防子系统的设计

根据安全防范管理工作的需要,可在某些建筑物内外(如民用机场、车站、码头)或特殊场所(如大型集会入口处、核电站、重要物资存储地、监狱等)临时或永久设置防爆安全检查系统、高安全实体防护系统、高安全周界防护系统等,并应符合下列规定:

1) 防爆安全检查系统的设计,应能对规定的爆炸物、武器或其他违禁物品进行实时、有效的探测、显示、记录和报警。系统的探测率、误报率和人员物品的通过率应满足国家现行标准的要求;探测不应对人体和物品产生伤害,不应引起爆炸物起爆。

2) 高安全实体防护系统(如用于核设施)的设计、所用设备和材料,均应满足国家现行相关标准的要求,不能产生辐射泄漏或影响环境安全。

3) 高安全周界保护系统(如监狱设施的周界高压电网)的设计,应遵从“技防、物防、人防相结合”的原则,并应符合国家现行相关标准的要求。

### 3.2 安全性设计

1) 安全防范系统所用设备、器材的安全性指标应符合《安全防范报警设备安全要求和试验方法》(GB 16796—1997)和相关产品标准规定的安全性能要求。

2) 安全防范系统的设计应防止造成对人员的伤害,并应符合下列规定:

①系统所用的设备及其安装部件的机械结构应有足够的强度,应能防止由于机械重心不稳、安装固定不牢、突出物和锐利边缘以及显示设备爆裂等造成对人员的伤害。系统的任何操作都不应对现场人员的安全造成伤害。

②系统用设备所产生的气体、X射线、激光辐射和电磁辐射等应符合国家现行相关标准的要求,不能损害人体健康。

③系统和设备应有防人身触电、防火、防过热的保护措施。

④监控中心(控制室)的面积、温度、湿度、采光及环保要求、自身防护能力、设备配置、安装、控制操作设计、人机界面设计等均应符合人机工程学的相关要求。

3) 安全防范系统的设计应能保证系统的信息安全,并应符合下列规定:

①系统的供电应安全、可靠。应设置备用电源,以防止由于突然断电而产生的信息丢失。

②系统应设置操作密码,并区分控制权限,以保证系统运行数据的安全。

③信息传输应有防泄密措施。有线专线传输应有防信号泄漏和/或加密措施,有线公网传输和无线传输应有加密措施。

④应有防病毒和防网络入侵的措施。

4) 安全防范系统的设计应考虑系统的防破坏能力,并应符合下列规定:

①入侵报警系统应具有防拆、开路、短路报警功能。

②系统传输线路的出入端线应隐蔽,并有保护措施。

③系统宜有自检功能,应有故障报警、欠压报警功能。

④高风险防护对象的安防系统应考虑遭受意外电磁攻击的防护措施。

### 3.3 可靠性设计

(1) 系统可靠性指标的分配

1) 根据系统规模的大小和用户对系统可靠性的总要求,

应将整个系统的可靠性指标进行分配,即将整个系统的可靠性要求转换为系统各组成部分(或子系统)的可靠性要求。

2) 系统所有子系统的平均无故障工作时间(MTBF)不应小于其(MTBF)分配指标。

3) 系统所使用的所有设备、器材的平均无故障工作时间(MTBF)不应小于其(MTBF)分配指标。

#### (2) 降额设计

应根据安全防范系统设计要求 and 关键环境因素(应力、温度、功率等)的影响,使元器件、部件、设备在低于额定值的状态下工作,保证系统的可靠性。

#### (3) 简化设计

应在完成规定功能的前提下,采用尽可能简化的系统结构,尽可能少的部件、设备,尽可能短的路由,来完成系统的功能,以获得系统的最佳可靠性。

#### (4) 冗余设计

1) 储备冗余(冷热备份)设计。系统应采用储备冗余设计,特别是系统的关键组件或关键设备,必须设置热(冷)备份,以保证在系统局部受损情况下能正常运行或快速维修。

2) 主动冗余设计。系统应尽可能采用总体并联式结构或串—并联混合式结构,以保证系统的某个局部发生故障(或失效)时,不影响系统其他部分的正常工作。

#### (5) 维修性和维修保障性设计

1) 系统的前端设备应采用标准化、规格化、通用化设备,以便维修和更换。

2) 系统主机结构应模块化。

3) 系统线路接头应插件化,线端必须做永久性标记。

4) 设备安装或放置的位置应留有足够的维修空间。

5) 传输线路应设置维修测试点。

6) 关键线路或隐蔽线路应留有备份线。

7) 系统所用设备、部件、材料等,应有足够的备件和维修保障能力。

8) 系统软件应有备份和维护保障能力。

### 3.4 电磁兼容性设计

1) 安全防范系统所用设备的电磁兼容性设计,应符合电磁兼容试验和测量技术系列标准的规定。试验的严酷等级根据实际需要,在设计文件中确定。线缆的电磁兼容设计应符合有关标准、规范的要求。

2) 传输线路的抗干扰设计应符合下列要求:

①电力系统与信号传输系统的线路应分开敷设。

②信号电缆的屏蔽性能、敷设方式、接头工艺、接地要求等应符合相关标准的规定。

③当电梯厢内安装摄像机时,应有防止电梯电力电缆对视频信号电缆产生干扰的措施。

3) 防电磁骚扰设计应符合下列要求:

①系统所用设备外壳开口应尽可能小,开口数量应尽可能少。

②系统中的无线发射设备的电磁辐射频率、功率,非无线发射设备对外的杂散电磁辐射功率均应符合国家现行有关法规与技术标准的要求。

### 3.5 环境适应性设计

1) 安全防范系统设计应符合其使用环境(如室内外温度、湿度、大气压等)的要求。系统所使用设备、部件、材料的环境适应性应符合《报警系统环境试验》(GB/T

15211—1994) 中相应严酷等级的要求。

2) 在沿海海滨地区盐雾环境下工作的系统设备、部件、材料, 应具有耐盐雾腐蚀的性能。

3) 在有腐蚀性气体和易燃易爆环境下工作的系统设备、部件、材料, 应采取符合国家现行相关标准规定的保护措施。

4) 在有声、光、热、振动等干扰源环境中工作的系统设备、部件、材料, 应采取相应的抗干扰或隔离措施。

### 3.6 防雷与接地设计

1) 建于山区、旷野的安全防范系统, 或前端设备装于塔顶, 或电缆端头高于附近建筑物的安全防范系统, 应按现行国家标准《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—1994) 的要求设置避雷保护装置。

2) 建于建筑物内的安全防范系统, 其防雷设计应采用等电位连接与共用接地系统的设计原则, 并满足现行国家标准《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2004) 和行业标准《安全防范系统雷电浪涌防护技术要求》(GA/T 670—2006) 的要求。

3) 安全防范系统的接地母线应采用铜质线, 接地端子应有地线符号标记。接地电阻不得大于  $4\Omega$ ; 建造在野外的安全防范系统, 其接地电阻不得大于  $10\Omega$ ; 在高山岩石的土壤电阻率大于  $2000\Omega \cdot m$  时, 其接地电阻不得大于  $20\Omega$ 。

4) 高风险防护对象的安全防范系统的电源系统、信号传输线路、天线馈线以及进入监控室的架空电缆入室端均应采取防雷电感应过电压、过电流的保护措施。

5) 安全防范系统的电源线、信号线经过不同防雷区的界面处, 宜安装电涌保护器; 系统的重要设备应安装电涌保护器。电涌保护器接地端和防雷接地装置应做等电位连接。等电位连接带应采用铜质线, 其截面积应不小于  $16mm^2$ 。

6) 监控中心内应设置接地汇集环或汇集排, 汇集环或

汇集排宜采用裸铜线, 其截面积应不小于  $35mm^2$ 。

7) 不得在建筑物屋顶上敷设电缆, 必须敷设时, 应穿金属管进行屏蔽并接地。

8) 架空电缆吊线的两端和架空电缆线路中的金属管道应接地。

9) 光缆传输系统中, 各光端机外壳应接地。光缆加强芯、架空电缆接续护套应接地。

### 3.7 供电设计

1) 宜采用两路独立电源供电, 并在末端自动切换。

2) 系统设备应进行分类, 统筹考虑系统供电。

3) 根据设备分类, 配置相应的电源设备。系统监控中心和系统重要设备应配备相应的备用电源装置。系统前端设备(如摄像机)的供电, 视工程实际情况, 可由监控中心集中供电, 如图 10.4-2 所示; 也可本地供电, 如图 10.4-3 所示。

4) 主电源和备用电源应有足够容量。应根据入侵报警系统、视频安防监控系统、出入口控制系统等的不同供电消耗, 按总系统额定功率的 1.5 倍设置主电源容量; 安全防范系统主要设备用电量估算, 见表 10.4-1; 应根据管理工作对主电源断电后系统防范功能的要求, 选择配置持续工作时间符合管理要求的备用电源。

5) 电源质量应满足下列要求:

① 稳态电压偏移不大于  $\pm 2\%$ 。

② 稳态频率偏移不大于  $\pm 0.2Hz$ 。

③ 电压波形畸变率不大于  $5\%$ 。

④ 允许断电持续时间为  $0 \sim 4ms$ 。

⑤ 当不能满足上述要求时, 应采用稳频稳压、不间断电源供电或备用发电等措施。

⑥ 安全防范系统的监控中心应设置专用配电箱, 配电箱的配出回路应留有裕量。

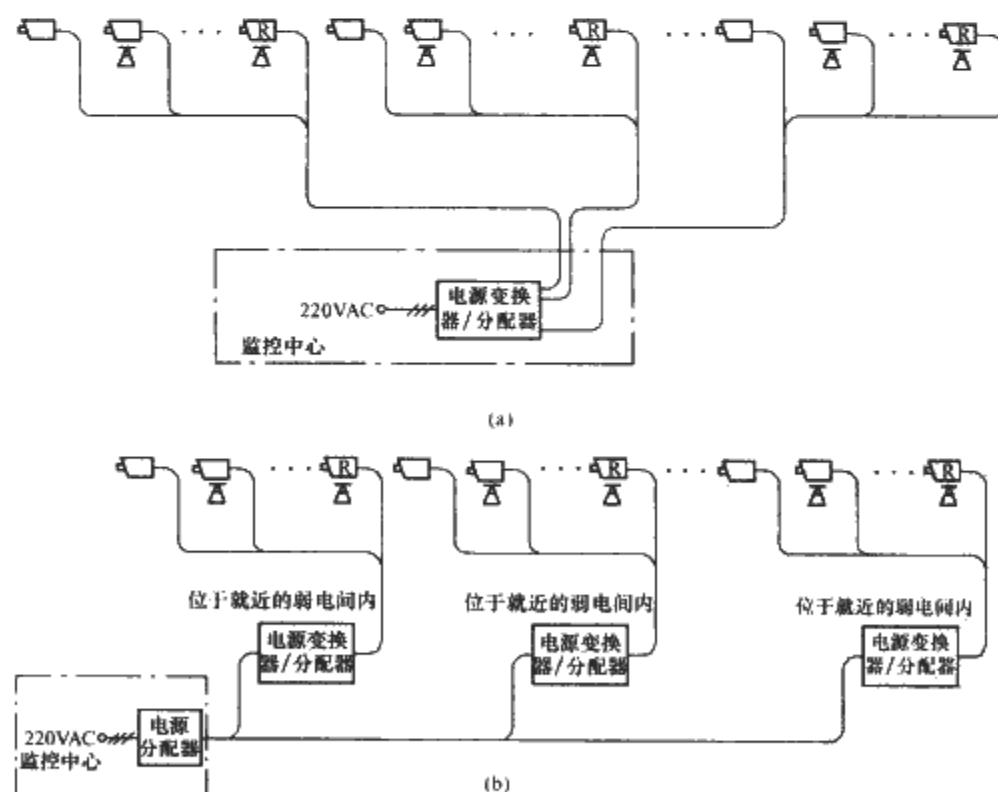


图 10.4-2 摄像机供电方案 (一)

(a) 集中供电方案 (一); (b) 集中供电方案 (二)

- 注: 1. 摄像机采用低压直流或交流电源供电, 一般为  $12VDC$  或  $24VAC$ 。  
2. 集中供电方式均由监控中心集中供电。集中供电方案 (一) 是将电源变换器安装在监控中心, 集中供电方案 (二) 是将电源变换器安装在各层或各区。  
3. 集中供电方式适用于对前端设备供电线路的距离较短的系统。  
4. 其他子系统的集中供电方案也可参照本图。

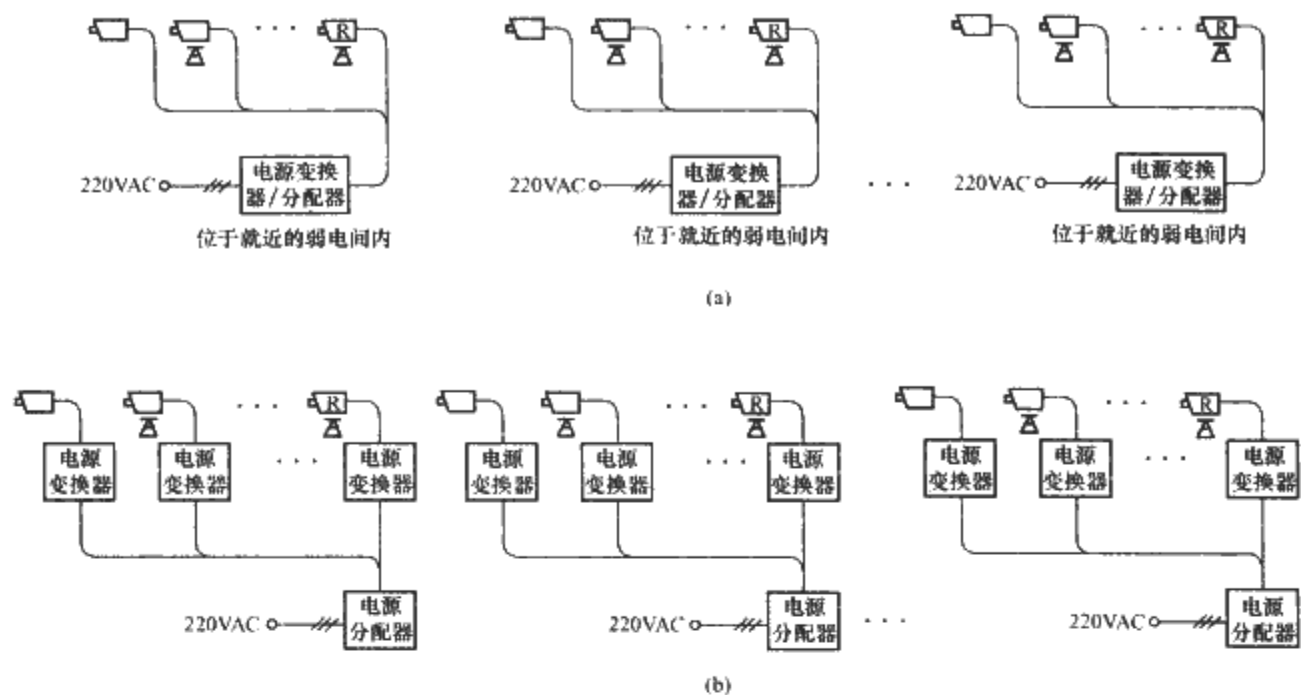


图 10.4-3 摄像机供电方案 (二)

(a) 本地供电方案 (一); (b) 本地供电方案 (二)

- 注: 1. 摄像机采用低压直流或交流电源供电, 一般为 12VDC 或 24VAC。  
2. 本地供电方式由各层或各区域当地供电。本地供电方案 (一) 是将电源变换器集中安装在区域的弱电间内, 本地供电方案 (二) 是将电源变换器安装在离摄像机更近的位置, 一般每一台摄像机对应一台电源变换器。  
3. 本地供电方式适用于对前端设备供电线路的距离较长, 前端设备位置较分散的系统。  
4. 其他子系统的本地供电方式也可参照本图。

表 10.4-1 安全防范系统主要设备用电量估算参考表

系统名称	设备名称	单台设备容量 (W)
视频安防监控系统	32 路入/8 路出	40
	80 路入/16 路出、64 路入/32 路出、48 路入/48 路出	80
	208 路入/16 路出、192 路入/32 路出、176 路入/48 路出	120
	336 路入/16 路出、320 路入/32 路出、304 路入/48 路出	160
	448 路入/16 路出、432 路入/32 路出、416 路入/48 路出	240
	592 路入/16 路出、560 路入/32 路出、544 路入/48 路出	280
	704 路入/16 路出、688 路入/32 路出、672 路入/48 路出	320
	816 路入/16 路出、800 路入/32 路出、784 路入/48 路出	400
	944 路入/16 路出、928 路入/32 路出、912 路入/48 路出	440
	1056 路入/32 路出、1040 路入/48 路出、1024 路入/64 路出	480
	1140 路入/16 路出、1424 路入/32 路出、1408 路入/48 路出	560
	视频服务器	60
	数字硬盘录像机 (嵌入式)	200
	数字硬盘录像机 (PC 机)	300
	带式录像机	18
	固定黑白摄像机	3
	固定彩色摄像机	4
	黑白/彩色快球摄像机	60
	摄像机控制云台	5
	黑白监视器 14in	40
	黑白监视器 17in	50
	黑白监视器 20in	70

续表		
系统名称	设备名称	单台设备容量 (W)
视频安防监控系统	彩色监视器 14in	60
	彩色监视器 17in	80
	彩色监视器 21in	85
	彩色监视器 29in	100
	彩色液晶监视器 15~19in	45
	彩色等离子监视器 42in	330
	彩色等离子监视器 46in	340
	彩色等离子监视器 50in	370
	光端机 1、2 路	4
	光端机 4 路	5
	光端机 8 路	7
出入口控制系统	服务器或工作站	300
	门禁控制器 单门	40
入侵报警系统	报警主机	20
	工作站	300
周界防护电子报警系统	工作站	300
	控制器	40
停车场管理系统	一入一出设备	200
	工作站	300
访客对讲系统	访客对讲管理机	15
	工作站	300
	访客对讲主机	30

注 1in=2.54cm。

3.8 监控中心设计

- 1) 监控中心应设置为禁区, 应有保证自身安全的防护措施和进行内外联络的通讯手段, 并应设置紧急报警装置和留有向上一级接处警中心报警的通信接口。
- 2) 监控中心的面积与安防系统的规模相适应, 应不小于  $20\text{m}^2$ 。应有保证值班人员正常工作的相应辅助设施。
- 3) 监控中心室内地面应防静电、光滑、平整、不起尘。门的宽度应不小于  $0.9\text{m}$ , 高度应不小于  $2.1\text{m}$ 。
- 4) 监控中心内的温度宜为  $16\sim 30^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度宜为  $30\%\sim 75\%$ 。
- 5) 监控中心内有良好的照明。
- 6) 室内的电缆、控制线的敷设宜设置地槽; 当不设置地槽时, 也可敷设在电缆架、电缆槽、电缆走廊、墙上槽板内, 或采用活动地板。
- 7) 根据机架、机柜、控制台等设备的相应位置, 应设

- 置电缆槽和进线孔。槽的高度和宽度应满足敷设电缆的容量和电缆弯曲半径的要求。
- 8) 室内设备的排列, 应便于维护和操作, 并应满足消防安全管理的规定。
- 9) 控制台的装机容量应根据工程需要留有扩展余地。控制台的操作部分应方便、灵活、可靠。
- 10) 控制台的正面与墙的净距离应不小于  $1.2\text{m}$ ; 侧面与墙或其他设备的净距离, 在主要走道应不小于  $1.5\text{m}$ , 在次要走道应不小于  $0.8\text{m}$ 。
- 11) 机架背面和侧面与墙的净距离应不小于  $0.8\text{m}$ 。
- 12) 监控中心的供电、接地与雷电防护设计应符合相关规定。
- 13) 监控中心的布线、进出线端口的设置、安装等, 应符合本篇相关规定。
- 14) 监控中心设备的布置示意图和防雷接地示意图, 如图 10.4-4 和图 10.4-5 所示。

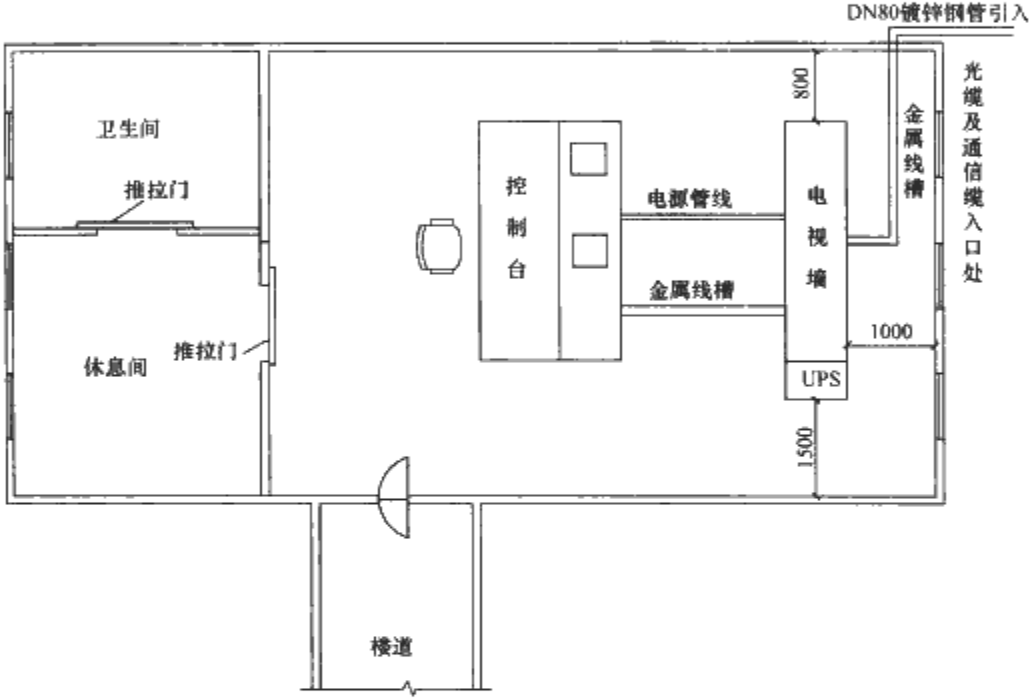


图 10.4-4 监控中心设备布置示意图

- 注: 1. 监控中心按照功能需要可分为设备区、监控区、生活区等。安防系统规模较大时, 设备区宜分隔为独立房间。
2. 监控中心应在禁区内, 其在周界应有加强防入侵、抗攻击的措施。内部应备有必要的自卫措施和与外界沟通的无线通信手段。
3. 监控中心的出入口推荐采用门禁装置和双门互锁结构, 并应具备可视对讲的能力。
4. 控制台和监视器柜(电视墙机柜)应符合人机工程的要求。

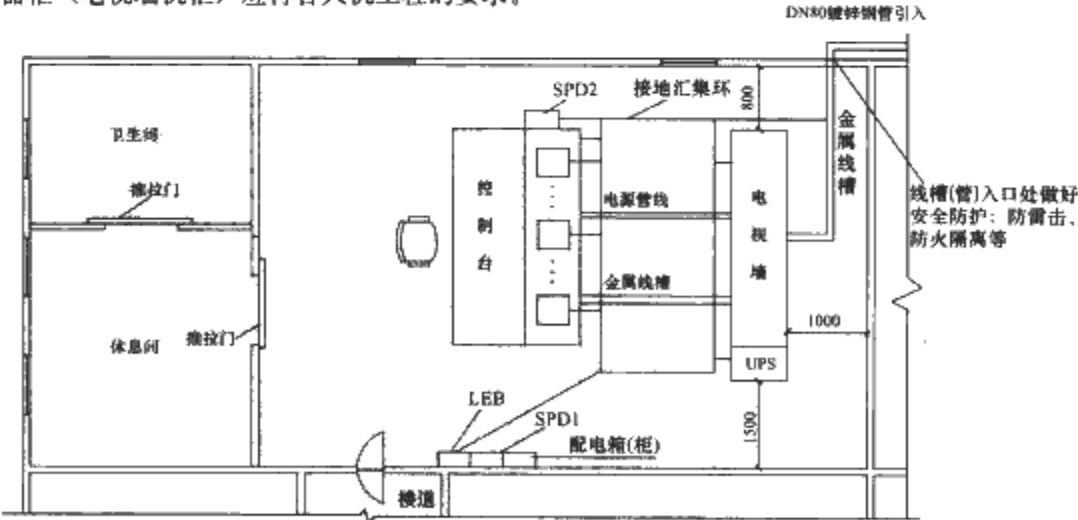


图 10.4-5 监控中心设备防雷接地示意图

- 注: 1. 设备之间的互连线一般通过地板下的金属线槽(管)来连接。从监控中心外引来的管(槽)线应做好入口的防雷击和防火隔离的措施。
2. 监控中心内应设置汇集环或汇集排, 汇集环或汇集排宜采用铜裸线, 其截面积应不小于  $35\text{mm}^2$ 。
3. 监控中心的局部等电位接地端子板(LEB)应与预留的楼层主钢筋接地端子连接。
4. 监控中心的电源 SPD1 与等电位接地端子板(LEB)、信号 SPD2 与接地汇集环的连接距离不大于  $0.5\text{m}$ 。

### 3.9 系统集成设计

1) 安全防范系统的集成设计包括子系统的集成设计、总系统的集成设计,必要时还应考虑总系统与上一级管理系统的集成设计。

2) 入侵报警系统、视频安防监控系统、出入口控制系统等独立子系统的集成设计,是指它们各自系统对其分系统的集成(如大型多级报警网络系统的设计),应考虑一级网络对二级网络的集成与管理,二级网络应考虑对三级网络的集成与管理等;大型视频安防监控系统的设计应考虑监控中心(主控)对各分中心(分控)的集成与管理等。

3) 各子系统间的联动或组合设计应符合下列规定:

①根据安全管理的要求,出入口控制系统必须考虑与消防报警系统的联动,保证火灾情况下的紧急逃生。

②根据实际需要,电子巡查系统可与出入口控制系统或入侵报警系统进行联动或组合,出入口控制系统可与入侵报警系统或/和视频安防监控系统联动或组合,入侵报警系统

可与视频安防监控系统或/和出入口控制系统联动或组合等。

4) 系统的总集成设计应符合下列规定:

①一个完整的安全防范系统,通常都是一个集成系统。

②安全防范系统的集成设计,主要是指其安全管理系统的设计。

③安全管理系统的设计可有多种模式,可以采用某一子系统为主(如视频安防监控系统)进行系统总集成设计,也可采用其他模式进行系统总集成设计,不论采用那种模式,其安全管理系统的设计除符合本篇第4章2.2第(3)款和3.1第(1)款的规定外,还应满足下列要求:

a. 有相应的信息处理能力和控制/管理能力;有相应容量的数据库。

b. 通信协议和接口应符合国家现行有关标准的规定。

c. 系统应具有可靠性、容错性和维修性。

d. 系统应与上一级管理系统进行更高一级的集成。

5) 安全防范系统的系统集成示意图10.4-6所示。

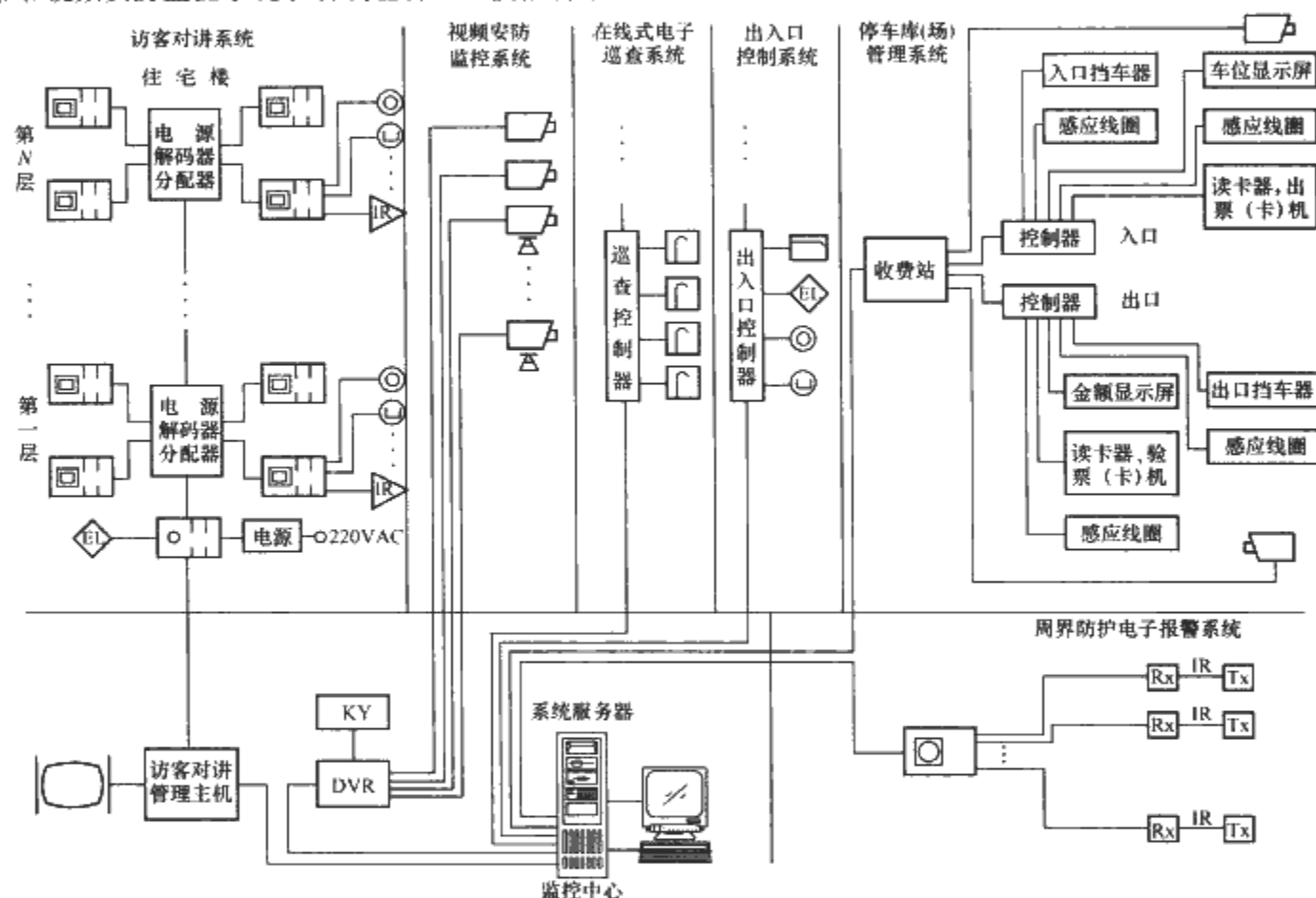


图 10.4-6 安全防范系统的系统集成示意图

### 3.10 传输方式与路由设计

(1) 传输方式的选择

1) 传输方式的选择取决于系统规模、系统功能、现场环境和管理工作的要求。一般采用有线传输为主、无线传输为辅的传输方式。有线传输可采用专线传输、公用电话网传输、公共数据网传输、电缆光缆传输等多种模式。

2) 选用的传输方式应保证信号传输的稳定、准确、安全、可靠,且便于布线、施工、检测和维修。

3) 可靠性要求高或布线便利的系统,应优先选用有线传输方式,最好是选用专线传输方式。布线困难的地方可考虑采用无线传输方式,但要选择抗干扰能力强的设备。

4) 报警网的主干线(特别是借用公共电话网构成的区域报警网),宜采用有线传输为主、无线传输为辅的双重报警传输方式,并配以必要的有线/无线转接装置。

(2) 传输线缆的选择

1) 传输线缆的衰减、弯曲、屏蔽、防潮等性能应满足系统设计总要求,并符合相应产品标准的技术要求。在满足上述要求的前提下,宜选用线径较细、容易施工的线缆。

2) 报警信号传输线的耐压应不低于250V AC,应有足够的机械强度。铜芯绝缘导线、电缆芯线的最小截面积应满足下列要求:

①穿管敷设的绝缘导线,线芯最小截面积应不小于 $1.00\text{mm}^2$ 。

②线槽内敷设的绝缘导线,线芯最小截面积应不小于 $0.75\text{mm}^2$ 。

③多芯电缆的单股线芯最小截面积应不小于 $0.50\text{mm}^2$ 。

3) 视频信号传输电缆应满足下列要求:

①应根据图像信号采用基带传输或射频传输,确定选用视频电缆或射频电缆。



②所选用的电缆的防护层应适合电缆敷设方式及使用环境的要求（如气候环境、是否存在有害物质、干扰源等）。

③室外线路，宜选用外导体内径为 9mm 的同轴电缆，并采用聚乙烯外套。

④室内距离不超过 500m 时，宜选用外导体内径为 7mm 的同轴电缆，且采用防火的聚氯乙烯外套。

⑤终端机房设备间的连接线，距离较短时，宜选用外导体内径为 3mm 或 5mm、且具有密编铜网外导体的同轴电缆。

⑥电梯轿厢的视频同轴电缆应选用电梯专用电缆。

4) 光缆应满足下列要求：

①光缆的传输模式，可依据传输距离而定。长距离传输时宜采用单模光纤，距离较短时宜采用多模光纤。

②光缆芯线数目，应根据监控点的个数、监控点的分布情况来确定，并注意留有一定的余量。

③光缆的结构及允许的最小弯曲半径、最大抗拉力等机械参数，应满足施工条件的要求。

④光缆的保护层，应适合光缆的敷设方式及使用环境的要求。

(3) 传输设备的选型

1) 利用公共电话网、公用数据网传输报警信号时，其有线转接装置应符合公共网入网要求；采用无线传输时，无线发射装置、接收装置的发射频率、功率应符合国家无线电管理的有关规定。

2) 视频电缆传输部件应满足下列要求：

①视频电缆传输方式。

宜加电缆均衡器的位置：黑白电视基带信号在 5MHz 时的不平坦度不小于 3dB 处；彩色电视基带信号在 5.5MHz 时的不平坦度不小于 3dB 处。

宜加电缆放大器的位置：黑白电视基带信号在 5MHz

时的不平坦度不小于 6dB 处；彩色电视基带信号在 5.5MHz 时的不平坦度不小于 6dB 处。

②射频电缆传输方式。

摄像机在传输干线某处相对集中时，宜采用混合器来收集信号；摄像机分散在传输干线沿途时，宜选用定向耦合器来收集信号；控制信号传输距离较远，到达终端已不能满足接收电平要求时，宜考虑中途加装再生中继器。

③无线图像传输方式。

监控距离在 10km 范围内时，可采用高频开路传输；监控距离较远且监视点在某一区域较集中时，应采用微波传输方式，其传输距离可达几十千米；需要传输距离更远或中间有阻挡物时，可考虑加微波中继；无线传输频率应符合国家无线电管理的规定，发射功率应不干扰广播和民用电视，调制方式宜采用调频式。

3) 光端机、解码箱或其他光部件在室外使用时，应具有有良好的密闭防水结构。

(4) 布线设计

1) 综合布线系统的设计应符合现行国家标准《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007) 的规定。

2) 非综合布线系统的路由设计，应符合下列规定：

①同轴电缆宜采取穿管暗敷或线槽的敷设方式。当线路附近有强电磁场干扰时，电缆应在金属管内穿过，并埋入地下。当必须架空敷设时，应采取防干扰措施。

②路由应短捷、安全可靠，施工维护方便。

③应避免恶劣环境条件或易使管道受损的地段。

④与其他管道等障碍物不应交叉跨越。

3.11 设备选型举例

1) 常用探测器的选型见表 10.4-2 和图 10.4-7。

表 10.4-2 常用探测器选型参考表

名 称	适应场所与 安装方式		主要特点	安装设 计要点	适宜工作环境 和条件	不适宜工作 环境和条件	附加功能
超声波多普勒探测器	室内 空间型	吸顶式	没有死角且成本 低	水平安装，距地宜小 于 3.6m	警戒空间要有较好 密封性	简易或密封性不好的室内；有活动物和可能活动物；环境嘈杂，附近有金属打击声、汽笛声、电铃等高频声响	智能鉴别技术
		壁挂式		距地 2.2m 左右，透镜的法线方向宜与可能入侵方向成 180°角			
微波多普勒探测器	室内空间型， 挂墙式		不受声、光、热的影响	距地 1.5~2.2m 左右，严禁对着房间的外墙、外窗。透镜的法线方向宜与可能入侵方向成 180°角	可在环境噪声较强、光变化、热变化较大的条件下工作	有活动物和可能活动物；微波段高频电磁场环境；防护区域内有过大、过厚的物体	平面天线技术； 智能鉴别技术
被动红外入侵探测器	室内 空间型	吸顶式	被动式（多台交叉使用互不干扰），功耗低，可靠性较好	水平安装，距地宜小 于 3.6m	日常环境噪声，温度在 15~25℃ 时探测效果最佳	背景有冷热变化，例如，冷热气流，强光间歇照射等；背景温度接近人体温度；强电磁场干扰；小动物频繁出没场合等	自动温度补偿技术；抗小动物干扰技术；防遮术；抗强光干扰技术
		挂墙式		距地 2.2m 左右，透镜的法线方向宜与可能入侵方向成 90°角楼道			
		楼道式		距地 2.2m 左右，视场面对楼道			
		幕帘式		在顶棚与立墙拐角处，透镜的法线方向宜与窗户平行	窗户内窗台较大或与窗户平行的墙面无遮挡，其他与上同	窗户内窗台较小或与窗户平行的墙面有遮挡或紧贴窗帘安装，其他与上同	智能鉴别技术

续表

名 称	适应场所与 安装方式		主要特点	安装设 计要点	适宜工作环境 和条件	不适宜工作 环境和条件	附加功能
微波和被动 红外复合入侵 探测器	室内 空间型	吸顶式	误报警少（与 被动红外探测器 相比）；可靠性 较好	水平安装，距地宜小 于 4.5m	日常环境噪声，温 度在 15～25℃ 时探 测效果最佳	背景温度接近人体温 度；环境嘈杂，附近有金 属打击声、汽笛声、电铃 等高频声响；小动物频繁 出没场合等	双-单转换型； 自动温度补偿技 术；抗小动物干 扰技术；防遮挡 技术；智能鉴别 技术
		挂墙式		距地 2.2m 左右，透镜 的法线方向宜与可能入侵 方向成 135°角			
		楼道式		距地 2.2m 左右，视场 面对楼道			
被动式玻璃 破碎探测器	室内空间型， 有吸顶，壁挂等		被动式；仅对 玻璃破碎等高频 声响敏感	所要保护的玻璃应在探 测器保护范围之内，并应 尽量靠近所要保护玻璃附 近的墙壁或天花板上。具 体按说明书的安装要求 进行	日常环境噪声	环境嘈杂，附近有金属 打击声、汽笛声、电铃等 高频声响	智能鉴别技术
振动入侵探 测器	室内、外		被动式	墙壁、天花板、玻璃； 室外地面表层物下面、保 护栏网或桩柱，最好与防 护对象实现刚性连接	远离振源	地质板结的冻土或土质 松软的泥土地，时常引起 振动或环境过于嘈杂的 场合	智能鉴别技术
主动红外入 侵探测器	室内、外（一 般室内机不能用于 室外）		红外线、便于 隐蔽	红外光路不能有阻挡 物；严禁阳光直射接收机 透镜内；防止入侵者从光 路下方或上方侵入	室内周界控制；室 外“静态”干燥气候	室外恶劣气候，特别是 经常有浓雾、毛毛雨的地 域或动物出没的场所、灌 木丛、杂草、树叶树枝多 的地方	
遮挡式微波 入侵探测器	室内、室外周 界控制		受气候影响小	高度应一致，一般为设 备垂直作用高度的 1/2	无高频电磁场存在 场所；收发机间无遮 挡物	高频电磁场存在场所； 收发机间有可能有遮挡物	报警控制设备 宜有智能鉴别 技术
振动电缆入 侵探测器	室内、室外 均可		可与室内各种 实体防护周界配 合使用	在围栏、房屋墙体、围 墙内侧或外侧高度的 2/3 处。网状围栏上安装；固 定间隔应小于 30m，每 100m 预留 8～10m 维 护环	非嘈杂振动环境	嘈杂振动环境	报警控制设备 宜有智能鉴别 技术
泄漏电缆入 侵探测器	室内、室外周 界控制		可随地形埋 设、可埋入墙体	埋入地域应尽量避免金 属堆积物	两探测电缆间无活 动物体；无高频电磁 场存在场所	高频电磁场存在场所； 两探测电缆间有易活动物 体（如灌木丛等）	报警控制设备 宜有智能鉴别 技术
磁开关入侵 探测器	各种门、窗、 抽屉等		体积小、可靠 性好	舌簧管宜置于固定框 上，磁铁置于门窗的活动 部位上，两者宜安装在产 生位移最大的位置，其间 距应满足产品安装要求	非强磁场存在情况	强磁场存在情况	在特制门窗使 用时宜选用特制 门窗专用门磁 开关
紧急报警 装置	用于可能发生 直接威胁生命的 场所（如银行营 业所、值班室、 收银台等）		利用人工启动 （手动报警开关、 脚踢报警开关 等）发出报警 信号	要隐蔽安装，一般安装 在紧急情况下人员易靠触 发的部位	日常工作环境	危险爆炸环境	防误触发措 施，触发报警后 能自锁，复位需 采用人工再操作 方式

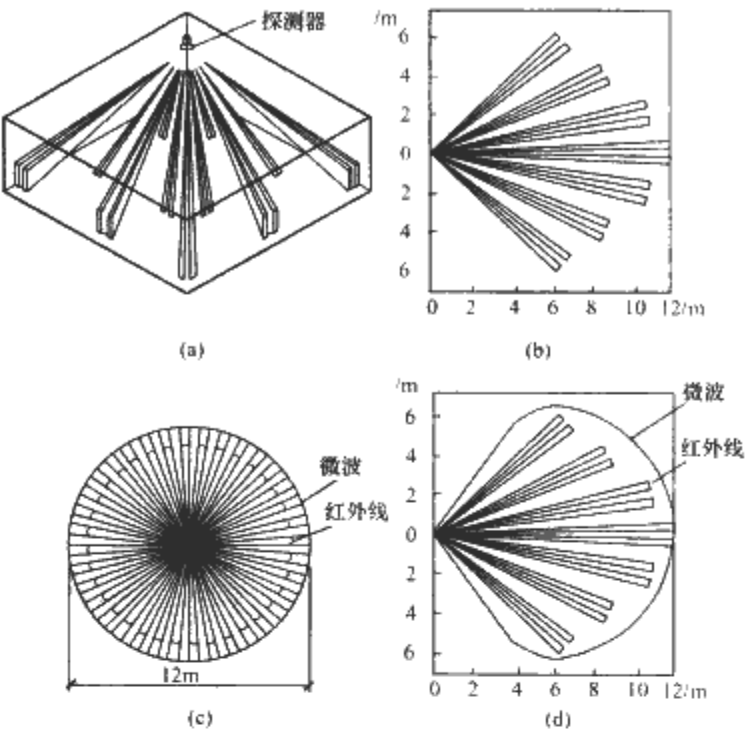


图 10.4-7 探测器探测区域参考图

- (a) 被动红外探测器的探测模式（壁挂安装）；  
(b) 被动红外探测器探测区域图（壁挂安装）；  
(c) 微波和被动红外复合入侵探测器探测区域图（吸顶安装）；  
(d) 微波和被动红外复合入侵探测器探测区域图（壁挂安装）
- 注：1. 被动红外探测器不受噪声与声音的影响。  
2. 不同被动红外探测器的探测区域和外形尺寸各不相同。  
3. 本图探测器探测区域仅供参考。

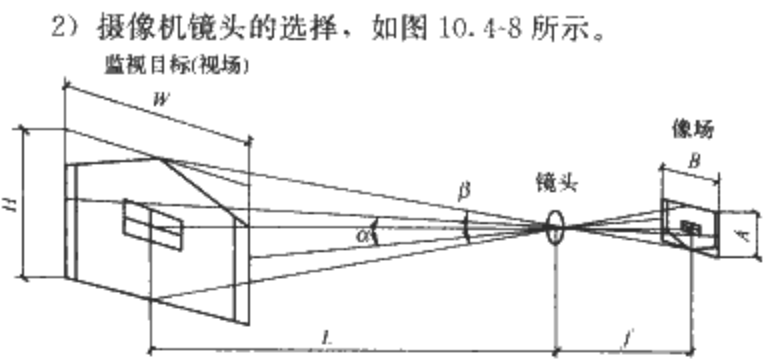


图 10.4-8 摄像机镜头选择计算

$f$  为焦距，mm（焦距 $\approx$ 像距）； $A$ 、 $B$  为像场高、宽，mm；  
 $L$  为镜头到监视目标的距离，mm； $H$ 、 $W$  为视场高、宽，mm；  
 $f=AL/H=BL/W$ ；  
 $\alpha$  为水平视场角， $\tan\alpha/2=B/2f$ ；  
 $\beta$  为垂直视场角， $\tan\beta/2=A/2f$ 。

- 注：1. 镜头焦距的选择根据视场大小、感光面大小（通常指 CCD 靶面的二维尺寸，一般用它作为成像的最大尺寸）和镜头到监视目标的距离等来确定。通常摄像机和镜头的说明书会提示镜头和视场角的关系。一般视场角越大，同样距离和大小的观察目标成像越小。  
2. 在视场角和目标成像大小之间需根据实际需要进行折中，否则，只能采用遥控摄像机，但一般也不能用一台摄像机达到同时即能有足够大的视场范围，又有足够大的目标成像的效果。若要同时兼顾，应在现场设置至少两台不同焦距和观察角度的摄像机。

3) 出入口控制系统的设备选型，见表 10.4-3 ~ 表 10.4-5。

表 10.4-3 出入口控制系统常用执行设备选型参考表

序号	应用场所	常采用的执行设备	安装设计要点
1	单向开启、平开木门 (含带木框的复合材料门)	阴极电控锁	适用于单扇门：安装位置距地面 90~110cm 边门框处；可与普通单舌机械锁配合使用
		电控撞锁、一体化电子锁	适用于单扇门：安装于门体靠近开启边，距地面 90~110cm 处；配合件安装在边门框上
		磁力锁、阳极电控锁	安装于上门框，靠近门开启边；配合件安装于门体上；磁力锁的锁体不应暴露在防护面（门外）
		自动平开门机	安装于上门框；应选用带闭锁装置的设备或另加电控锁；外挂式门机不应暴露在防护面（门外）；应有防夹措施
2	单向开启、平开镶玻璃门 (不含带木框门)	阳极电控锁	适用于单扇门：安装位置距地面 90~110cm 边门框处；可与普通单舌机械锁配合使用
		磁力锁	安装于上门框，靠近门开启边；配合件安装于门体上；磁力锁的锁体不应暴露在防护面（门外）
		自动平开门机	安装于上门框；应选用带闭锁装置的设备或另加电控锁；外挂式门机不应暴露在防护面（门外）；应有防夹措施
3	单向开启、平开玻璃门	带专用玻璃门夹的阳极电控锁	安装位置同本表第 1 条相关内容；玻璃门夹的作用面不应安装在防护面（门外）；无框（单玻璃框）门的锁引线应有防护措施
		带专用玻璃门夹的磁力锁	
		玻璃门夹电控锁	
4	双向开启、平开玻璃门	带专用玻璃门夹的阳极电控锁	同本表第 3 条相关内容
		玻璃门夹电控锁	
5	单扇、推拉门	阳极电控锁	同本表第 1、3 条相关内容
		磁力锁	安装于边门框；配合件安装于门体上；不应暴露在防护面（门外）
		推拉门专用电控挂钩锁	根据锁体结构不同，可安装于上门框或边门框；配合件安装于门体上；不应暴露在防护面（门外）
		自动推拉门机	安装于上门框；应选用带闭锁装置的设备或另加电控锁；应有防夹措施

续表

序号	应用场所	常采用的执行设备	安装设计要点
6	双扇、推拉门	阳极电控锁	同本表第 1、3 条相关内容
		推拉门专用电控挂钩锁	应选用安装于上门框的设备；配合件安装于门体上；不应暴露在防护面（门外）
		自动推拉门机	同本表第 5 条相关内容
7	金属防盗门	电控撞锁、磁力锁、自动门机	同本表第 1 条、第 5 条相关内容
		电机驱动锁舌电控锁	根据锁体结构不同，可安装于门框或门体上
8	防尾随人员快速通道	电控三棍闸、自动启闭速通门	应与地面有牢固的连接；常与非接触式读卡器配合使用；自动启闭速通门应有防夹措施
9	小区大门、院门等（人员、车辆混行通道）	电动伸缩栅栏门	固定端与地面应牢固连接；滑轨应水平铺设；门开口方向应在值班室一侧；启闭时应有声、光指示并有防夹措施
		电动栅栏式栏杆机	应与地面有牢固的连接、适用于不限高的场所，不宜选用闭合时间小于 3s 的产品，应有防砸措施
10	一般车辆出入口	电动栏杆机	应与地面有牢固的连接；用于有限高的场所时，栏杆应有曲臂装置；应有防砸措施
11	防闯车辆出入口	电动升降式地挡	应与地面有牢固的连接；地挡落下后，应与地面在同一水平面上；应有防止车辆通过时，地挡顶车的措施

表 10.4-4 出入口控制系统常用编码识读设备选型参考表

名 称	适应场所	主要特点	安装设计要点	适宜工作环境和条件	不适宜工作环境和条件
普通密码键盘	人员出入口，授权目标较少的场所顶、壁挂等	密码易泄漏、易被窥视，保密性差，密码需经常更换	用于人员通道门，宜安装于距门开启边 20~30cm，距地面 1.2~1.4m 处 用于车辆出入口，宜安装于车道左侧距地面高 1.2m，距挡车器 3.5m 处	室内安装 如需室外安装，需选用密封性良好的产品	不易经常更换密码且授权目标较多的场所
乱序密码键盘	人员出入口授权目标较少的场所	密码易泄漏，密码不易被窥视，保密性较普通密码键盘高，需经常更换			
磁卡识读设备	人员出入口，较少用于车辆出入口	磁卡携带方便，便宜，易被复制、磁化，卡片及读卡设备易被磨损，需经常维护		室内安装 适合人员通道	室外可被雨淋处；尘土较多的地方；环境磁场较强的场所
接触式 IC 卡读卡器	人员出入口	安全性高，卡片携带方便，卡片及读卡设备易被磨损，需经常维护			
接触式 TM 卡（纽扣式）读卡器	人员出入口	安全性高，卡片携带方便，不易被磨损		可安装在室内、外适合人员通道	
条码识读设备	用于临时车辆出入口	介质一次性使用，易被复制、易损坏	宜安装在出口收费岗亭内，由操作员使用	停车场收费岗亭内	非临时目标出入口
非接触识读式读卡器	人员出入口；停车场出入口	安全性较高，卡片携带方便，不易被磨损，全密封的产品具有较高的防水、防尘能力	用于人员通道门，宜安装于距门开启边 20~30cm，距地面 1.2~1.4m 处 用于车辆出入口，宜安装于车道左侧距地面高 1.2m，距挡车器 3.5m 处；用于车辆出入口超远距离的有源读卡器（读卡距离 > 5m），应根据现场实际情况选择安装位置，应避免尾随车辆先读卡	可安装在室内、外，近距离读卡器（读卡距离 < 50cm）适合人员通道 远距离读卡器（读卡距离 > 50cm）适合车辆出入口	电磁干扰较强的场所；较厚的金属材料表面 工作在 900MHz 频段下的人员出入口 无防冲撞机制（防冲撞，可依次读取同时进入感应区域的多张卡），读卡距离 > 1m 人员出入口
非接触可写、不加密式读卡器	人员出入口；消费系统一卡通应用的场所	安全性不高，卡片携带方便，易被复制，不易被磨损，全密封的产品具有较高的防水、防尘能力			
非接触可写、加密式读卡器	人员出入口；与消费系统一卡通应用的场所	安全性高，无源卡片，携带方便不易被磨损，不易被复制，全密封的产品具有较高的防水、防尘能力			

表 10.4-5 出入口控制系统常用人体生物特征识读设备选型参考表

名称	主要特点	安装设计要点	适宜工作环境和条件	不适宜工作环境和条件	备 注
批纹识读设备	指纹识读设备易于小型化 识别速度很快 使用方便 需人体配合的程度较高	操作时需人 体接 触 识 读 设备	用于人员通道门,宜安装于适 合人手配合操作,距地面 1.2~ 1.4m 处 当采用的识读设备,其人体生 物特征信息存储在目标携带的介 质内时,应考虑该介质如被伪造 而带来的安全性影响	室内安装 使用环境应满足产品选 用的不同传感器所要求的 使用环境要求	操作时需人体 接触识读设备, 不适宜安装在医 院等容易引起交 叉感染的场所
掌形识读设备	识别速度较快 需人体配合的程度较高				
虹膜识别设备	虹膜被损伤、修饰的可能性很 小,也不易留下被可能复制的 痕迹 需人体配合的程度很高需要培 训才能使用	操作时不需 人体接触识读 设备	用于人员通道门,宜安装于适 合人眼 部 配 合 操 作,距 地 面 1.5~1.7m 处	环境亮度适宜、变化不 大的场所	环境亮度变化 大的场所,背光 较强的地方
面部识别设备	需人体配合的程度较低,易用 性好。适于隐蔽地进行面像采 集、对比		安装位置应便于摄取面部图像 的设备能以最大面积、最小失真 地获得人脸正面图像		

注 1. 当识读设备采用 1:N 对比模式时,不需编码识读方式辅助操作,当目标数多时识别速度及误识率的综合指标下降。  
2. 当识读设备采用 1:N 对比模式时,需用编码识读方式辅助操作,识读速度及误识率的综合指标不随目标数多少变化。  
3. 当采用的识读设备,其人体生物特征信息的存储单元位于防护面时,应考虑该设备被非法拆除时数据的安全性。  
4. 当采用的识读设备,其人体生物特征信息存储在目标携带的介质内时,应考虑该介质如被伪造而带来的安全性影响。  
5. 所选用的识读设备,其误识率、拒认率、识别速度等指标应满足实际应用的安全与管理要求。  
6. 离线式电子巡查系统的设备选型参见表 10.4-6。

4) 离线式电子巡查系统的设备选型,见表 10.4-6。

表 10.4-6 离线式电子巡查系统设备选型参考表

序号	名称	型 号	使用方式	性能	技术特点	参 考 图
1	采集装置	landwell—3000EF	接触式/ 感应式	10 000 (可选择)	将 TM 接触式与感应式读 卡有效地结合在一个产品中, 水中读卡一体化仿型防水硅胶 内胆,适合任何环境	
		Landwell—9000P	接触式	4096 (可选择)	枪式外观, 不锈钢触头可水 中读卡, 内置一体化仿型防水 硅胶内胆	
		Landwell—2000K			304# 不锈钢壳体与耐油橡 胶外套, 内置一体化仿型防水 硅胶内胆	
		Landwell—7000EF	感应式	4K (可选择)	全中文操作菜单, 自动导 航, 实现人机对话既可以本机 查询和数据调用又具抄表功能	
2	信息 转换装置	Landwell—3000ET	可与各种采集 装置配套使用	RS232/USB	将采集装置信息转换到 PC 机内	
		landwell—2000ET				
		Landwell—7000ET				
		Landwell—7000ET+	远程传输	Line	通过电话线将采集装置信息 传输到远端 PC 机内	
3	信息 钮	TM—1990	接触式	DS2401 芯片	安装注意事项: 1. 感应式信息钮应尽量远 离金属物安装 2. 信息钮可用托架支撑, 镶嵌在物体表面, 也可用 AB 胶进行粘贴 3. 信息钮 (螺栓式) 以膨 胀螺栓/螺丝的形式镶嵌物体 表面, 防破坏、防盗性能良好	
		螺栓式 TM—1990				
		EM—2	感应式	125~128K		
4	软件	Landwell—5.0	综合版	用于接触式 和感应式	PC 机建议配置 CPU: 奔腾/赛扬 1.0G 以上 内存: 128MB 以上 硬盘空间: 20G (要求有 5G 以上的空闲空间)	
		Landwell—4.0				
		Landwell—3.0	单机版	用于感应式		
		Landwell—2.0		用于接触式		
		Landwell—7.0		用于 7000EF		
		Landwell—9.0	网络版	根据用户实际 情况进行编写		

注 本表仅以北京兰德华电子技术有限公司的产品为例, 其他产品亦可选用。

## 4 安全防范工程施工、设备安装与系统调试

### 4.1 工程施工与设备安装总要求

#### (1) 现场工程师的职责

安全防范工程施工现场应设一名现场工程师。该工程师应具备国家承认的中级以上技术职称,且由熟悉本工程设计的工程技术人员担任。现场工程师要在甲方授权人的监督下,对整个工程负直接责任,具体责任如下:

1) 确保施工按设计方案进行。所用设备器材与设计一致,设备安装与布线符合电气装置安装规范要求。施工中确需更改原设计时,应由甲方授权人和乙方现场工程师签字方为有效。

2) 协助甲方做好隐蔽工程的检测与验收。如地线的施工、接地电阻的测量、暗敷管线是否符合规范等,并作好检测和验收的记录。

3) 负责施工中的安全,指导并监督施工人员严格按照安全操作规程作业。

4) 控制施工工期,保证按合同要求交工。

5) 指导工程技术人员进行系统调试。

6) 负责施工中全部图样资料的管理,并在工程施工结束时提交竣工图样资料。

7) 负责甲方值班人员的培养。

8) 就施工中的有关事宜与甲方协调。

#### (2) 施工前应具备的图样资料

安防工程施工前必须具备下列图样资料:

1) 系统原理框图。

2) 前端设备(摄像设备和报警设备等)布防平面图。

3) 监控中心设备布置图。

4) 管线敷设要求与管线敷设图。

5) 前端设备器材配置图。

#### (3) 施工竣工时应提交的图样资料

1) 施工前所接的全部图纸资料。

2) 竣工图纸,即与实际工程相符的图样。

3) 设计更改记录。

4) 隐蔽工程的检测报告,包括绝缘电阻、接地电阻的测试数据等。

5) 隐蔽工程的验收报告,如暗敷管线的验收、地下施工过程的验收等。

### 4.2 设备安装

#### (1) 探测器安装

1) 各类探测器的安装,应根据所选产品的特性、警戒范围要求和环境影响等,确定设备的安装点(位置和高度)。

2) 周界入侵探测器的安装,应能保证防区交叉,避免盲区,并应考虑使用环境的影响。

3) 探测器底座和支架应固定牢固。

4) 导线连接应牢固可靠,外接部分不得外露,并留有适当余量。

#### (2) 紧急按钮安装

紧急按钮的安装位置应隐蔽,并便于操作。

#### (3) 摄像机的安装

1) 在满足监视目标视场范围要求的条件下,其安装高度:室内离地不宜低于2.5m;室外离地不宜低于3.5m。

2) 摄像机及其配套装置,如镜头、防护罩、支架、雨刷等,安装应牢固,运转应灵活,应注意防破坏,并与周边

环境相协调。

3) 在强电磁干扰环境下,摄像机安装应与地绝缘隔离。

4) 信号线和电源线应分别引入,外露部分用软管保护,并不影响云台的转动。

5) 电梯轿厢内摄像机应安装在厢门上方的左或右侧,并能有效监视电梯轿厢内乘员面部特征。

#### (4) 云台、解码器安装

1) 云台的安装应牢固,转动时无晃动。

2) 应根据产品技术条件和系统设计的要求,检查云台的转动角度范围是否满足要求。

3) 解码器应安装在云台附近或吊顶内(但须留有检修孔)。

#### (5) 出入口控制设备安装

1) 各类识读装置的安装高度离地应不高于1.5m,安装应牢固。

2) 感应式读卡机在安装时应注意可感应范围,不得靠近高频、强磁场。

3) 锁具安装应符合产品技术要求,安装应牢固,启闭应灵活。

#### (6) 访客(可视)对讲设备安装

1) (可视)对讲主机(门口机)可安装在单元防护门上或墙体主机预埋盒内,(可视)对讲主机操作面板的安装高度离地不宜高于1.5m,操作面板应面向访客,便于操作。

2) 调整(可视)对讲主机内置摄像机的方位和视角于最佳位置,对不具备逆光补偿的摄像机,宜做环境亮度处理。

3) (可视)对讲分机(用户机)安装位置宜选择在住户室内的内墙上,安装应牢固,其高度离地1.4~1.6m。

4) 联网型(可视)对讲系统的管理机宜安装在监控中心内,或小区出入口的值班室内,安装应牢固、稳定。

#### (7) 电子巡查设备安装

1) 在线巡查或离线巡查的信息采集点(巡查点)的数目应符合设计与使用要求,其安装高度离地1.3~1.5m。

2) 安装应牢固,注意防破坏。

#### (8) 停车库(场)安全管理设备安装

1) 读卡机(IC卡机、磁卡机、出票读卡机、验卡票机)与挡车器安装。

①安装应平整、牢固、与水平面垂直。

②读卡机与挡车器的中心间距应符合设计要求或产品使用要求。

③宜安装在室内;当安装在室外时,应考虑防水及防撞措施。

#### 2) 感应线圈安装。

①感应线圈埋设位置与埋设深度应符合设计要求或产品使用要求。

②感应线圈至机箱处的线缆应采用金属管保护,并固定牢固。

#### 3) 信号指示器安装。

①车位状况信号指示器应安装在车道出入口的明显位置。

②车位状况信号指示器宜安装在室内;安装在室外时,应考虑防水措施。

③车位引导指示器应安装在车道中央上方,便于识别与引导。

#### (9) 监控中心设备安装

1) 控制台、机柜(架)安装位置应符合设计要求,安



装应平稳牢固、便于操作维护。机柜(架)背面、侧面离墙净距离不应小于0.8m。

2) 所有控制、显示、记录等终端设备的安装应平稳,便于操作。其中监视器(屏幕)应避免外来光直射,当不可避免时,应采取避光措施。在控制台、机柜(架)内安装的设备应有通风散热措施,内部接插件与设备连接应牢固。

3) 控制室内所有线缆应根据设备安装位置设置电缆槽和进线孔,排列、捆扎整齐,编号,并有永久性标志。

### 4.3 隐蔽工程施工与线缆、光缆敷设

(1) 施工中应做好隐蔽工程的随工验收

管线敷设时,建设单位或监理单位应会同设计、施工单位对管线敷设质量进行随工验收,并填写“隐蔽工程随工验收单”(见表10.4-7)或监理单位提供的隐蔽工程随工验收单。

(2) 线缆敷设

1) 综合布线系统的线缆敷设应符合现行国家标准《综合布线系统工程验收规范》(GB 50311—2007)的规定。

2) 非综合布线系统室内线缆的敷设,应符合下列要求:

① 无机械损伤的电(光)缆,或改、扩建工程使用的电(光)缆,可采用沿墙明敷方式。

② 在新建的建筑物内或要求管线隐蔽的电(光)缆应采用暗管敷设方式。

③ 下列情况可采用明管配线:

a. 易受外部损伤。

b. 在线路路由上,其他管线和障碍物较多,不宜明敷的线路。

c. 在易受电磁干扰或易燃易爆等危险场所。

④ 电缆和电力线平行或交叉敷设时,其间距不得小于0.3m;电力线与信号线交叉敷设时,宜成直角。

3) 室外线缆的敷设,应符合现行国家标准《民用闭路监视电视系统工程技术规范》(GB 50198—1994)中的第2.3.7条的要求。

4) 敷设电缆时,多芯电缆的最小弯曲半径应大于其外径的6倍;同轴电缆的最小弯曲半径应大于其外径的15倍。

5) 线缆槽敷设截面利用率不应大于60%;线缆穿管敷设截面利用率不应大于40%。

6) 电缆沿支架或在线槽内敷设时应在下列各处牢固固定:

① 电缆垂直排列或倾斜坡度超过45°时的每一个支架上。

② 电缆水平排列或倾斜坡度不超过45°时,在每隔1~2个支架上。

③ 在引入接线盒及分线箱前150~300mm处。

7) 明敷设的信号线路与具有强磁场、强电场的电气设备之间的净距离,宜大于1.5m,当采用屏蔽线缆或穿金属保护管或在金属封闭线槽内敷设时,宜大于0.8m。

8) 线缆在沟道内敷设时,应敷设在支架上或线槽内。当线缆进入建筑物后,线缆沟道与建筑物间应隔离密封。

9) 线缆穿管前应检查保护管是否畅通,管口应加护圈,防止穿管时损伤导线。

10) 导线在管内或线槽内不应有接头和扭结。导线的接头应在接线盒内焊接或用端子连接。

11) 同轴电缆应一线到位,中间无接头。

(3) 光缆敷设

1) 敷设光缆前,应对光纤进行检查。光纤应无断点,

其衰耗值应符合设计要求。核对光缆长度,并应根据施工图的敷设长度来选配光缆。配盘时应使接头避开河沟、交通要道和其他障碍物。架空光缆的接头应设在杆旁1m以内。

2) 敷设光缆时,其最小弯曲半径应大于光缆外径的20倍。光缆的牵引端头应作好技术处理,可采用自动控制牵引力的牵引机进行牵引。牵引力应加在加强芯上,其牵引力不应超过150kg;牵引速度宜为10m/min;一次牵引的直线长度不宜超过1km,光纤接头的预留长度应不小于8m。

3) 光缆敷设后,应检查光纤有无损伤,并对光缆敷设损耗进行抽测。确认没有损伤后,再进行接续。

4) 光缆接续应由受过专门训练的人员操作,接续时应采用光功率计或其他仪器进行监视,使接续损耗达到最小。接续后应做好保护,并安装好光缆接头护套。

5) 在光缆的接续点和终端应作永久性标志。

6) 管道敷设光缆时,无接头的光缆在直道上敷设时应由人工逐个将光缆入孔同步牵引;预先作好接头的光缆,其接头部分不得在管道内穿行。光缆端头应用塑料胶带包扎好,并盘圈放置在托架高处。

7) 光缆敷设完毕后,宜测量通道的总损耗,并用光时域反射计观察光纤通道全程波导衰减特性曲线。

### 4.4 系统调试与试运行

(1) 基本要求

系统调试前应编制完成系统设备平面布置图、走线图以及其他必要的技术文件。调试工作应由项目责任人或具有相当于工程师资格的专业技术人员主持,并编制调试大纲。

(2) 调试前的准备

1) 按工程施工的要求,检查工程的施工质量。对施工中出现的,如错线、虚焊、开路或短路等应予以解决,并有文字记录。

2) 按正式设计文件的规定查验已安装设备的规格、型号、数量、备品备件等。

3) 系统在通电前应检查供电设备的电压、极性、相位等。

(3) 系统调试

1) 先对各种有源设备逐个进行通电检查,工作正常后方可进行系统调试,并做好调试记录。

2) 报警系统调试。

① 按国家现行入侵探测器系列标准、《入侵报警系统技术要求》(GA/T 368—2001)等相关标准的规定,检查与调试系统所采用探测器的探测范围、灵敏度、误报警、漏报警、报警状态后的恢复、防拆保护等功能与指标,应基本符合设计要求。

② 按现行国家标准《防盗报警控制器通用技术条件》(GB 12663—2001)的规定,检查控制器的本地、异地报警、防破坏报警、布撤防、报警优先、自检及显示等功能,应基本符合设计要求。

③ 检查紧急报警时系统的响应时间,应符合设计要求。

3) 视频安防监控系统调试。

① 按《视频安防监控系统技术要求》(GA/T 367—2001)等国家现行相关标准的规定,检查并调试摄像机的监控范围、聚焦、环境照度、抗逆光效果等,使图像清晰度、灰度等级达到系统设计要求。

② 检查并调整对云台、镜头等的遥控功能,排除遥控延迟和机械冲击等不良现象,使监视范围达到设计要求。

③ 检查并调整视频切换控制主机的操作程序、图像切

换、字符叠加等功能,保证工作正常,满足设计要求。

④调整监视器、录像机、打印机、图像处理器、同步器、编码器、解码器等设备,保证工作正常,满足设计要求。

⑤当系统具有报警联动功能时,应检查与调试自动开启摄像机电源、自动切换音视频到指定监视器、自动实时录像等功能。系统应叠加摄像时间、摄像机位置(含电梯楼层显示)的标识符,并显示稳定。当系统需要灯光联动时,应检查灯光打开后图像质量是否达到设计要求。

⑥检查并调试监视图像与回放图像的质量,在正常工作照明环境条件下,监视图像质量不应低于现行国家标准《民用闭路监视电视系统工程技术规范》(GB 50198—1994)中表4.3.1-1规定的4级,回放图像质量不应低于表4.3.3-1规定的3级,或至少能辨别人的面部特征。

#### 4) 出入口控制系统调试。

①按《出入口控制系统技术要求》(GA/T 394—2002)等国家现行相关标准的规定,检查并调试系统设备如读卡器、控制器等,系统应能正常工作。

②对各种读卡机在使用不同类型的卡(如通用卡、定时卡、失效卡、黑名单卡、加密卡、防劫持卡等)时,调试其开门、关门、提示、记忆、统计、打印等判别与处理功能。

③按设计要求,调试出入口控制系统与报警、电子巡查等系统间的联动或集成功能。

④对采用各种生物识别技术装置(如指纹、掌形、视网膜、声控及其复合技术)的出入口控制系统的调试,应按系统设计文件及产品说明书进行。

#### 5) 访客(可视)对讲系统调试。

①按国家现行标准《楼宇对讲电控防盗门通用技术条件》(GA/T 72—2005)《黑白可视对讲系统》(GA/T 269—2001)的要求,调试门口机、用户机、管理机等设备,保证工作正常。

②按国家现行标准《楼宇对讲电控防盗门通用技术条件》(GA/T 72—2005)的要求,调试系统的选呼、通话、电控开锁等功能。

③调试可视对讲系统的图像质量,应符合国家现行标准《黑白可视对讲系统》(GA/T 269—2001)的相关要求。

④对具有报警功能的访客(可视)对讲系统,应按现行国家标准《防盗报警控制器通用技术条件》(GB 12663—2001)及相关标准的规定,调试其布防、撤防、报警和紧急求助功能,并检查传输及信道有否堵塞情况。

#### 6) 电子巡查系统调试。

①调试系统组成部分各设备,均应工作正常。

②检查在线式信息采集点读值的可靠性、实时巡查与预制巡查的一致性,并查看记录、存储信息以及在发生不到位时的即时报警功能。

③检查离线式电子巡查系统,确保信息钮的信息正确,数据的采集、统计、打印等功能正常。

#### 7) 停车库(场)安全管理系统调试。

①检查并调整读卡机刷卡的有效性及其响应速度。

②调整电感线圈的位置和响应速度。

③调整挡车器的开放和关闭的动作时间。

④调整系统的车辆进出、分类收费、收费指示牌、导向指示、挡车器工作、车牌号复核或车型复核等功能。

#### 8) 供电、防雷与接地设施检查。

①检查系统的主电源和备用电源。

②检查各子系统在电源电压规定范围内的运行状况,应

能正常工作。

③分别用主电源和备用电源供电,检查电源自动转换和备用电源的自动充电功能。

④当系统采用稳压电源时,检查其稳压特性、电压纹波系数应符合产品技术条件;当采用UPS作备用电源时,应检查其自动切换的可靠性、切换时间、切换电压值及容量,并应符合设计要求。

⑤按防雷与接地设计的要求,检查系统的防雷与接地设施;复核土建施工单位提供的接地电阻测试数据,其接地电阻应符合本章3.6的规定,如达不到要求,必须整改。

⑥按设计文件要求,检查各子系统的室外设备是否有防雷措施。

#### 9) 采用系统集成方式的系统的调试——总系统调试。

①按系统集成的设计要求和系统操作说明书(操作手册)先对各子系统进行检查和调试,应能工作正常。

②按照设计文件的要求,检查并调试安全管理系统对各子系统的监控功能,显示、记录功能,以及各子系统脱网独立运行等功能。

10) 系统调试结束后,应根据调试记录,按表10.4-8的要求如实填写各子系统、总系统的调试报告。调试报告经建设单位认可后,系统才能进入试运行。

#### (4) 系统试运行

系统调试结束后,应进行系统试运行。系统试运行时间一般为1~3个月,并按表10.4-9的要求如实填写系统试运行记录。

表 10.4-7 隐蔽工程随工验收单

工程名称					
建设单位/ 总包单位	设计施工单位		监理单位		
隐蔽工程内容	序号	检查内容	检查结果		
			安装质量	部位	图号
	1	管道排列、走向、弯曲处理、固定方式			
	2	管道搭接、接地			
	3	管口安放护圈标识			
	4	接线盒及桥架加盖			
	5	线缆对管道及线间绝缘电阻			
	6	线缆接头处理等			
验收意见					
建设单位/总包单位		设计施工单位		监理单位	
验收人:		验收人:		验收人:	
日期:		日期:		日期:	
签章:		签章:		签章:	

注 1. 检查结果的安装质量栏内,按检查内容序号,合格的打“√”,基本合格的打“△”,不合格的打“×”,并注明对应的楼层(部位)、图号。

2. 综合安装质量的检查结果,填写在验收意见栏内,并扼要说明情况。

表 10.4-8                      系统调试报告                      编号：

工程名称		工程地址				
使用单位		联系人		电话		
调试单位		联系人		电话		
设计单位		施工单位				
主要设备	设备名称、型号	数量	编号	出厂年月	生产厂家	备注
施工有无遗留问题		施工单位联系人		电话		
调试情况						
调试人员 (签字)				使用单位人员 (签字)		
施工单位负责人 (签字)				设计单位负责人 (签字)		
填表日期						

表 10.4-9                      系统试运行记录

工程名称		工程级别			
建设（使用）单位					
设计、施工单位					
日期时间	试运行内容	试运行情况	备注	值班人	

注 1. 系统试运行情况栏中，正常打“√”，并每天不少于填写一次，不正常的在备注栏内及时扼要说明情况（包括修复日期）。  
2. 系统有报警部分的，报警试验每天进行一次。出现误报警、漏报警的，在试运行情况和备注栏内如实填写。

## 第11篇 通信网络及信息系统

主 编：陈建飏 刘 侃

编写人员：张 浩 熊 凡 张振昭



# 第1章 综合布线系统

## 1 综合布线介绍

### 1.1 总述

建筑物与建筑群综合布线系统,简称综合布线系统,是指一幢建筑物内(或综合性建筑物)或建筑群体中的信息传输媒质系统。它将相同或相似的缆线(如对绞线、同轴电缆或光缆)、连接硬件组合在一套标准的且通用的、按一定秩序和内部关系而集成为整体。

综合布线是建筑物内或建筑群之间的一种模块化的、灵活性极高的信息传输系统。它既能使语音、数据、图像设备和交换设备与其他信息管理系统彼此相连,也能使这些设备与外部相连接。它还包括建筑物外部网络或电信线路的连接点与应用系统设备之间的所有线缆及相关的连接部件。综合布线由不同系列和规格的部件组成,其中包括:传输介质、相关连接硬件(如配线架、连接器、插座、插头、适配器)以及电气保护设备等。这些部件可用来构建各种子系统,它们都有各自的具体用途,不仅易于实施,而且能随需求的变化而平稳升级。

综合布线系统具有以下特点:

#### (1) 综合性、兼容性好

传统的布线方式需要使用不同的电缆、电线、接续设备和其他器材,技术性能差别极大,难以互相通用,彼此不能兼容。综合布线系统具有综合不同系统和互相兼容的特点,采用光缆或高质量的布线部件和连接硬件,能满足不同生产厂家终端设备传输信号的需要。

#### (2) 灵活性、适应性强

采用传统的布线系统时,如需改变终端设备的位置和数量,必须敷设新的缆线和安装新的设备,且在施工过程中有可能发生传送信号中断或质量下降,增加工程投资和施工时间,因此,传统的专业布线系统的灵活性和适应性差。在综合布线系统中任何信息点都能连接不同类型的终端设备,当设备数量和位置发生变化时,只需采用简单的插接工序,实用方便,其灵活性和适应性都强,且节省工程投资。

#### (3) 便于今后扩建和维护管理

综合布线系统的网络结构一般采用星形结构,各条线路自成独立链路,在改建或扩建时互相不会受影响。综合布线系统的所有布线部件采用积木式的标准件和模块化设计。因此,部件容易更换,便于排除障碍,且采用集中管理方式,有利于分析、检查、测试和维修,节约维护费用和提高工作效率。

#### (4) 技术经济合理

综合布线系统各个部分都采用高质量材料和标准化部件,并按照标准施工和严格检测,保证系统技术性能优良可靠,满足目前和今后通信需要,且在维护管理中减少维修工作,节省管理费用。采用综合布线系统虽然初次投资较多,但从总体上看是符合技术先进、经济合理的要求的。

### 1.2 综合布线基础模型

从图 11.1-1 模型示意中可以看出,综合布线最核心的

就是线和线两端接口连接件,这根线及接口在不再改动的情况下可以用来做电话语音传输、电脑数据传输、摄像机图像信号传输、有线电视信号传输等。

现在,改变一下模型表达方式,加入一些图形,如图 11.1-2 所示。



图 11.1-1 模型示意

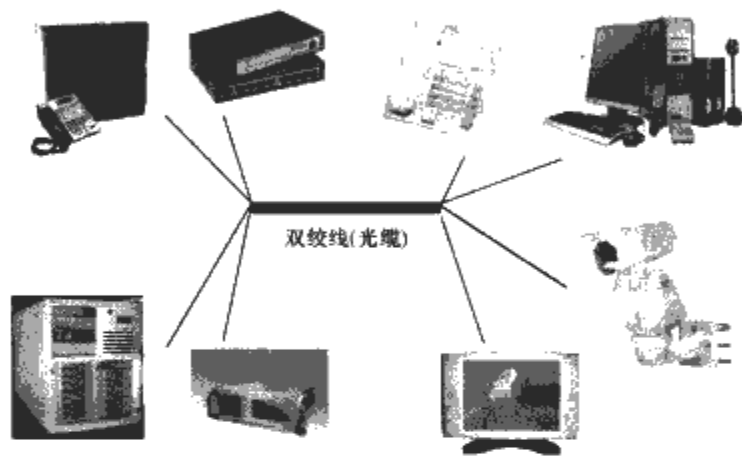


图 11.1-2 模型表达方式

综合布线的完整组成(系统主要功能子系统)详见第 6 章,下面介绍综合布线里的“线”及“连接件”的问题。

### 1.3 双绞电缆

#### 1.3.1 概述

双绞线(TP)是综合布线工程中最常用的一种传输介质。双绞线由两根具有绝缘保护层的铜导线组成。把两根绝缘的铜导线按一定密度互相绞在一起,可降低信号干扰的程度,每一根导线在传输中辐射的电波会被另一根线上发出的电波抵消。双绞线一般由两根 22~26 号绝缘铜导线相互缠绕而成。如果把一对或多对双绞线放在一个绝缘套管中便成了双绞线电缆。在双绞线电缆(也称双绞线电缆)内,不同线对具有不同的扭绞长度,一般地说,扭绞长度在 14cm 至 38.1cm 内,按逆时针方向扭绞,相邻线对的扭绞长度在 12.7cm 以上。目前,双绞线可分为非屏蔽双绞线(UTP)和屏蔽双绞线(STP)。

虽然双绞线主要是用来传输模拟声音信息的,但同样适用于数字信号的传输,特别适用于较短距离的信息传输。在传输期间,信号的衰减比较大,并且产生波形畸变。采用双绞线的局域网的带宽取决于所用导线的质量、长度及传输技术。只要精心选择和安装双绞线,就可以在有限距离内达到每秒几百万位的可靠传输率。当距离很短,并且采用特殊的电子传输技术时,传输率可更高。由于利用双绞线传输信息时要向周围辐射,信息很容易被窃听,因此要花费额外的代价加以屏蔽。屏蔽双绞线电缆的外层由铝箔包裹,以减小辐射,但并不能完全消除辐射。屏蔽双绞线价格相对较高,安装时要比非屏蔽双绞线电缆困难,类似于同轴电缆,它必须



配有支持屏蔽功能的特殊连接器和相应的安装技术。

另外,非屏蔽双绞线电缆具有以下优点:

- 1) 无屏蔽外套,直径小,节省所占用的空间。
- 2) 重量轻、易弯曲、易安装。
- 3) 将串扰减至最小或加以消除。
- 4) 具有阻燃性。
- 5) 具有独立性和灵活性,适用于结构化综合布线。

### 1.3.2 规格型号

目前双绞线电缆定义了八种不同质量的型号。计算机网络综合布线使用第 3 类、4 类、5 类、超 5 类、6 类、7 类。

1) 第 1 类。主要用于传输语音(1 类标准主要用于 20 世纪 80 年代初之前的电话线缆),不用于数据传输。

2) 第 2 类。传输频率为 1MHz,用于语音传输和最高传输速率 4Mbit/s 的数据传输,常见于使用 4Mbit/s 规范令牌传递协议的旧的令牌网。

3) 第 3 类。指目前在 ANSI 和 EIA/TIA 568 标准中指定的电缆。该电缆的传输频率为 16MHz,用于语音传输及最高传输速率为 10Mbit/s 的数据传输,主要用于 10Base-T。

4) 第 4 类。该类电缆的传输频率为 20MHz,用于语音传输和最高传输速率 16Mbit/s 的数据传输,主要用于基于令牌的局域网和 10Base-T/100Base-T。

5) 第 5 类。该类电缆增加了绕线密度,外套一种高质量的绝缘材料,传输频率为 100MHz,用于语音传输和最高传输速率为 100Mbit/s 的数据传输,主要用于 100Base-T 和 10Base-T 网络。

6) 超 5 类。超 5 类布线系统是一个非屏蔽双绞线(UTP)布线系统,通过对它的“链接”和“信道”性能的测试表明,它超过 TIA/EIA 568 的 5 类线要求。与普通的五类 UTP 比较,其衰减更小,串扰更少,同时具有更高的衰减与串扰的比值(ACR)和信噪比(SRL)、更小的时延误差,性能得到了提高。

与 5 类线缆相比,超 5 类在近端串扰、串扰总和、衰减和信噪比四个主要指标上都有较大的改进。

7) 6 类。6 类布线带来的最大好处,是用户可以大大减少在网络设备端的投资,包括网卡和交换机等。

目前的千兆以太网铜线(五类线)标准是 1000Base-T (IEEE 802.3ab),采用全双工方式工作,对回波损耗非常敏感。比如,交换机收到一个数据包,它就可能难以分辨是对端正常发过来的,还是己方发出被反射回来的。因此,支持 1000Base-T 的网络设备上需要具备有源数字信号处理器来补偿回波损耗。而现在,网络设备上可以不再需要这个有源数字信号处理器了,于是其成本可以降低许多。而且,6 类布线不只是提供了新的网络应用平台,还提升了数字语音和视频应用到桌面的服务质量。

1000Base-T 在 5 类线上利用双工方式实现 1000Mbit/s,这意味着在同一根线上既要收又要发,自然会复杂一点。而六类线采用单工方式(半双工),就没有这个问题。

更重要的是,5 类线上传输 1000Mbit/s,把这个流量分配到 8 根铜线上,每根铜线还要负担 125Mbit/s,但它的频率范围只能到 100MHz,这就意味着 1Hz 要产生 1.25bit,编码调制便比较复杂。而 6 类线用 1 对线实现 500Mbit/s,每根线上承担 250Mbit/s,而它的频率范围可到 250MHz,1Hz 上产生 1bit 便足够使用了,因此编码方式比较简单。

8) 7 类。6 类和 7 类布线系统有很多显著的差别,最明显的就是带宽。6 类信道提供了至少 200MHz 的综合衰减对串扰比及整体 250MHz 的带宽。7 类系统可以提供至少 500MHz 的

综合衰减对串扰比和 600MHz 的整体带宽。大量的宽带应用促使人们需要更多的带宽。6 类和 7 类系统的另外一个差别在于它们的结构。6 类布线系统既可以使用 UTP,也可以使用 STP。而 7 类系统只基于屏蔽电缆。在 7 类线缆中,每一对线都有一个屏蔽层,四对线合在一起还有一个公共大屏蔽层。从物理结构上来看,额外的屏蔽层使得 7 类线有一个较大的线径。还有一个重要的区别在于其连接硬件的能力,7 类系统的参数要求连接头在 600MHz 时所有的线对提供至少 60dB 的综合近端串扰。而超 5 类系统只要求在 100MHz 提供 43dB,6 类在 250MHz 的数值为 46dB。

注:7 类是目前争议比较大的一种标准,设计与施工都存在一定的难度,在此不作详细评论。

双绞线分为屏蔽双绞线与非屏蔽双绞线两大类。屏蔽线(含目前的 7 类布线)及综合布线屏蔽系统也不在本章中介绍。

### 1.3.3 性能指标

双绞线的主要性能指标包括衰减、近端串扰、阻抗特性、分布电容、直流电阻等。

#### (1) 衰减

衰减(Attenuation)是沿链路的信号损失度量。衰减与线缆的长度有关系,随着长度的增加,信号衰减也随之增加。衰减用 dB 作单位,表示源发送端信号到接收端信号强度的比率。由于衰减随频率而变化,因此,应测量在应用范围内的全部频率上的衰减,见表 11.1-1。

表 11.1-1 各类线缆允许的最大衰减值

频率 (MHz)	3 类(dB)		4 类(dB)		5 类(dB)		5E 类(dB)		6 类(dB)	
	通道 链路	基本 链路	通道 链路	基本 链路	通道 链路	基本 链路	通道 链路	基本 链路	通道 链路	基本 链路
1.0	4.2	2.6	2.6	2.2	2.5	2.1	2.1	2.1	2.2	2.1
4.0	7.3	6.1	4.8	4.3						
8.0	10.2	8.8	6.7	6.0	6.3	5.7	6.3	6.3	6.4	6.2
10.0	11.5	10.0	7.5	6.8	7.0	6.3				
16.0	14.9	13.2	9.9	8.8	9.2	8.2				
20.0			11.0	9.9	10.3	9.2				
25.0					11.4	10.3				
31.25					12.8	11.5				
62.25					18.5	16.7				
100					24.0	21.6	24	21.6	21.3	18.5
200									31.8	30.4
250										30.7

#### (2) 近端串扰

串扰分近端串扰(NEXT)和远端串扰(FEXT),测试仪主要是测量近端串扰,由于存在线路损耗,因此远端串扰的量值影响较小。近端串扰(NEXT)损耗是测量一条 UTP 链路中从一对线到另一对线的信号耦合。对于 UTP 链路,NEXT 是一个关键的性能指标,也是最难精确测量的一个指标。随着信号频率的增加,其测量难度将加大。

NEXT 并不表示在近端点所产生的串扰值,它只是表示在近端点所测量到的串扰值。这个量值会随电缆长度不同而变,电缆越长,其值变得越小。同时发送端的信号也会衰减,对其他线对的串扰也相对变小。实验证明,只有在 40m 内测量得到的 NEXT 是较真实的。如果另一端是远于 40m 的信息插座,那么它会产生一定程度的串扰,但测试仪可能无法测量到这个串扰值。因此,最好在两个端点都进行

NEXT 测量。现在的测试仪都配有相应设备,使得在链路一端就能测量出两端的 NEXT 值。NEXT 值见表 11.1-2。

表 11.1-2 最小近端串扰损耗一览表

频率 (MHz)	3 类(dB)		4 类(dB)		5 类(dB)		5E 类(dB)		6 类(dB)	
	通道 链路	基本 链路	通道 链路	基本 链路	通道 链路	基本 链路	通道 链路	基本 链路	通道 链路	基本 链路
1.0	39.1	40.1	53.3	54.7	>60.0	>60.0	63.0	64.0	72.7	73.5
4.0	29.3	30.7	43.3	45.1	50.6	51.8				
8.0	24.3	25.9	38.2	40.2	45.6	47.1				
10.0	22.7	24.3	36.6	38.6	44.0	45.5	47.0	49.0	56.6	57.8
16.0	19.3	21.0	33.1	35.3	40.6	42.3				
20.0			31.4	33.7	39.0	40.7				
25.0					37.4	39.1				
31.25					35.7	37.6				
62.25					30.6	32.7				
100					27.1	29.3	30.1	32.3	39.9	41.9
200									34.8	36.9
250									30.2	35.3

### (3) 特性阻抗

与环路直流电阻不同,特性阻抗包括电阻及频率为 1~100MHz 的电感阻抗及电容阻抗,它与一对电线之间的距离及绝缘体的电气性能有关。各种电缆有不同的特性阻抗,而双绞线电缆则有 100Ω、120Ω 及 150Ω 几种。

### (4) 衰减串扰比 (ACR)

在某些频率范围,串扰与衰减量的比例关系是反映电缆性能的另一个重要参数。ACR 有时也以信噪比 (SNR) 表示,它由最差的衰减量与 NEXT 量值的差值计算。ACR 值较大,表示抗干扰的能力更强。一般系统要求至少大于 10dB。

### (5) 电缆特性

通信信道的品质是由它的电缆特性描述的。SNR 是在考虑到干扰信号的情况下,对数据信号强度的一个度量。如果 SNR 过低,将导致数据信号在被接收时,接收器不能分辨数据信号和噪声信号,最终引起数据错误。因此,为了将数据错误限制在一定范围内,必须定义一个最小的可接收的 SNR。

## 1.4 光缆

光缆即光纤线缆,光纤是光导纤维的简称。它是用石英玻璃或特制塑料拉成的柔软细丝,直径在几微米至 120μm 之间。

### 1.4.1 单模光缆

单模光纤是在给定的工作波长中,只传输单一基模的光纤。它不存在模式色散,所以单模光纤具有相当宽的传输频带,运用于长距离、大容量的传输。单模光纤的芯径很细,纤芯直径只有 8~10μm,包层直径为 125μm,可以制作得很长,但是为了制造、运输、施工的方便,通常光缆的出厂长度为 1~6km。单模光纤的传输损耗现已低至 0.2dB/km (1.55μm),光缆接续长度不易小于 2km。

光纤接续的方法很多,现阶段以电弧熔接法最为优越,应用最为广泛。电弧熔接法是利用光纤高温时的熔融性能和高压尖端放电产生的高温电弧原理,使光纤熔接起来的。目前,所生产熔接机都采用图像处理技术,做到自动设定光纤端面位置。单模光纤的自动对心和自动熔接,通过切换显像管画面,可以从垂直和水平的两个方面观察光纤的对心和熔接情况。还可根据芯轴偏差和倾斜程度估算出接续损耗并显示出来。

在进行光纤接续时,一般按以下程序进行:

1) 在光纤上预先套上对光缆接续部位进行补强的带有钢丝的热缩套管。

2) 除去涂覆层。用被覆钳垂直钳住光纤,快速剥除 20~30mm 长的一次涂覆和二次涂覆层,用浸泡酒精的棉球或镜头纸用力擦拭光纤,将纤芯擦拭干净,且注意光纤的表面不应有裂口、划痕。

3) 切割光纤,制作端面。在光纤接续中,光纤端面的制作是最为关键的工序。光纤端面的完善与否是决定光纤接续损耗的重要原因之一。它要求制备后的端面平整,无毛刺、无缺损,且与轴线垂直,呈现一个光滑平整的镜面区,且保持清洁,避免灰尘污染。制备端面有三种方法:一是刻痕法,采用机械切割刀,用金刚石刀在表面上向垂直于光纤的方向划道刻痕,距涂覆层 10mm,轻轻弹碰,光纤在此刻痕位置上自然断裂;二是切割钳法,它是利用一种自制的手持简易钳进行切割操作;三是超声波电动切割法。这三个方法只要器具优良,操作得当,制备端面的效果都非常不错。

4) 将欲接的两根光纤放入熔接机中进行熔接,此由熔接机自动操作。

5) 用 OTDR 仪表进行接续性能测试及评定,符合接续指标后,再进行接续部位的补强保护,即热融带有钢丝的热缩管。

6) 最后,在全部纤芯接续完毕后,收入收容盘内,用 OTDR 仪表进行复测,不合格的要进行重新收容或重新接续,直到合格为止。

单模光纤接续损耗指标现一般定为 0.08dB,在施工中,可根据实际情况规定指标,但一般都不大于 0.08dB。

光纤接续损耗是由于接续点不完善而产生的损耗,影响接续点不完善的因素很多,归纳起来有两大类,即外因和内因。内因是指光纤本身的不完善,不能通过改善接续工艺来减少损耗,它包括芯径失配,折射率分布失配,光纤同心度不良,模场直径失配,所以在接续测试中,接续损耗值会出现大正大负的现象。通过多次接续只能使单向值小些,平均值趋于 0,但正负现象不能避免,正负现象对光纤传输损耗有一定的影响。在工程中,光缆配盘时应尽量选用同一批出厂的光缆,A、B 端尽量一一对应,人为地完善接续工艺以减少接续损耗。

外部因素是指非光纤本身不完善,而是接续工艺不良造成的,包括芯位置横向、纵向、光纤轴向角的偏差,光纤端面污染,这是由于在接续过程中熔接机的维护不及时、操作不当等人为因素造成接续损耗过大。

#### (1) G.652 单模光纤

满足 ITU-T G.652 要求的单模光纤,常称为非色散位移光纤,其零色散位于 1.3μm 窗口低损耗区,工作波长为 1310nm (损耗为 0.36dB/km)。我国已敷设的光纤光缆绝大多数是这类光纤。随着光纤光缆工业和半导体激光技术的成功推进,光纤线路的工作波长可转移到更低损耗 (0.22dB/km) 的 1550nm 光纤窗口。

## (2) G.655 单模光纤

满足 ITU-T G.655 要求的单模光纤,常称非零色散位移光纤或 NZDSF (=Non Zero Dispersion Shifted Fiber)。属于色散位移光纤,不过在 1550nm 处色散不是零值(按 ITU-T G.655 规定,在波长 1530~1565nm 范围对应的色散值为 0.1~6.0ps/nm.km),用以平衡四波混频等非线性效应。商品光纤有 AT&T 的 TrueWave 光纤,Corning 的 SMF-LS 光纤(其零色散波长典型值为 1567.5nm,零色散典型值为 0.07ps/nm<sup>2</sup>.km)以及 Corning 的 LEAF 光纤。

## (3) LEAF 光纤

商品名为 LEAF (Large Effective Area Fiber) 的单模非零色散位移光纤,工作在 1550nm 窗口;与标准的非零色散位移光纤相比,具有较大的“有效面积”,因而有较大的功率承受能力,适于使用高输出功率掺铒光纤放大器,即 EDFA 和密集波分复用(DWDM)技术的网络之用。

由单模光纤构成的常用光缆。

## (4) 带状光缆

以多个单根光纤通过着色、堆叠成带和二次套塑的光纤带为单元加工成的光缆。光纤带有两种,即包封型和边粘型,前者能承受横向压力,后者厚度较薄。每带内可有 4 根、8 根、12 根或 16 根光纤。带内光纤间距为 0.28mm (对于 4 根、8 根)和 0.3mm (对于 12 根和 16 根),整齐排列,垂直方向上有平面度,即偏离度要求,不得大于如 30 $\mu$ m、40 $\mu$ m、50 $\mu$ m (依带内光纤数而定),以便于集群(熔接)接续。带内光纤有序地使用色谱,利于检修和接续时识别无误。光纤带体积小,可提高光缆中光纤的集装密度,可构成芯数很大的,达 320~3456 芯。适用于当前发展迅速的光纤接入网。

## (5) 全介质自承式光缆

简称 ADSS (All Dielectric Self-Support) 光缆,其中抗张力的加强元不是金属而是芳纶纱和玻璃纤维增强塑料(FRP)。主要应用在强电场合,如电力和铁路通信系统;同时,也应用在跨江过河或复杂地形等大跨距场合。ADSS 光缆可以不停电施工,耐电痕,温度范围宽。

## (6) 地线复合光缆

简称 OPGW (Optical Power Grounded Waveguide),又称光纤架空地线,电力传输线路中地线中含有供通信用的光纤单元。该种光缆做到两全,即地线的电性能和机械性能不因设置了光纤而受到损害,光纤单元也要适当地受到保护而不致损伤。有铅骨架型、不锈钢管型以及海底光缆型等几种。

## (7) 海底光缆

铺设于海底的光缆,有浅海和深海应用。这种光缆的特点:一是耐受很大的静水压力(每深 10m 增加压力为 1t)和施放过程中的拖曳力;二是能防止氢入侵光纤,已经证实,氢会导致光纤增大衰减;三是中继段跨距大。在海底光缆中光纤单元都放置于缆的中心并在专制的不锈钢管中。该管外绕高强度拱形结构的钢丝。钢丝层又包上铜管,供作远供,又使得光缆敷设时不发生微/宏弯。然后挤塑外护套。还可能铠装,以防利器伤害,其中包括鲨鱼咬噬。在我国上海、青岛、汕头已有洋际海底光缆着陆。

## 1.4.2 多模光缆

多年以来,单模光纤新品种不断出现,光纤功能不断丰富和增强,性能价格比不断提高,但多模光纤并没有被取代而是始终保持稳定的市场份额,和其他品种同步发展。其原因是多模光纤的特性正好满足了网络用光纤的要求。相对于

长途干线,光纤网络的特点是:传输速率相对较低;传输距离相对较短;节点多、接头多、弯路多;连接器、耦合器用量大;规模小,单位光纤长度使用光源个数多。传输速率低和传输距离短正好可以利用多模光纤带宽特性和传输损耗不如单模光纤的特点。但单模光纤更便宜、性能比多模好,为什么网络中不用单模光纤呢?这是因为上述网络特点中弯路多损耗就大;节点多则光功率分路就频繁,这都要求光纤内部有足够的光功率传输。多模光纤比单模光纤芯径粗,数值孔径大,能从光源耦合更多的光功率。网络中连接器、耦合器用量大,单模光纤无源器件比多模光纤贵,而且相对精密、允差小,操作不如多模器件方便可靠。单模光纤只能使用激光器(LD)作光源,其成本比多模光纤使用的发光二极管(LED)高很多。尤其是网络规模小,单位光纤长度使用光源个数多,干线中可能几百千米用一个光源,而十几千米甚至几千米的每个网络各有独立的光源。如果网络使用单模光纤配用激光器,网络总体造价会大幅度提高。目前,垂直腔面发射激光器(VCSEL)已商用,价格与 LED 接近,其圆形的光束断面和高的调制速率正好补偿了 LED 的缺点,使多模光纤在网络中应用更添生机。从上述分析不难看出,认为单模光纤带宽高、损耗小,在网络中使用可以“一次到位”的考虑是不全面的。

为适应网络通信的需要,20 世纪 70 年代末至 80 年代初,各国大力开发大芯径大数值孔径多模光纤(又称数据光纤)。当时国际电工委员会推荐了四种不同芯/包尺寸的渐变折射率多模光纤即 A1a、A1b、A1c 和 A1d。它们的纤芯/包层直径/数值孔径( $\mu$ m)分别为 50/125/0.200、62.5/125/0.275、85/125/0.275 和 100/140/0.316。总体来说,芯/包尺寸大则制作成本高、抗弯性能差,而且传输模数量增多,带宽降低。100/140 $\mu$ m 多模光纤除上述缺点外,其包层直径偏大,与测试仪器和连接器件不匹配,很快便不在数据传输中使用,只用于功率传输等特殊场合。85/125 $\mu$ m 多模光纤也因类似原因被逐渐淘汰。1999 年 10 月在日本京都召开的 IECSC 86A GW1 专家组会议对多模光纤标准进行修改,2000 年 3 月公布的修改草案中,85/125 $\mu$ m 多模光纤已被取消。康宁公司 1976 年开发的 50/125 $\mu$ m 多模光纤和朗讯 Bell 实验室 1983 开发的 62.5/125 $\mu$ m 多模光纤有相同的外径和机械强度,但有不同的传输特性,一直在数据通信网络中“较量”。

62.5 $\mu$ m 芯径多模光纤比 50 $\mu$ m 芯径多模光纤芯径大、数值孔径高,能从 LED 光源耦合更多的光功率,因此 62.5/125 $\mu$ m 多模光纤首先被美国采用为多家行业标准。如 AT&T 的室内配线系统标准、美国电子工业协会(EIA)的局域网标准、美国国家标准研究所(ANSI)的 100Mbit/s 令牌网标准、IBM 的计算机光纤数据通信标准等。50/125 $\mu$ m 多模光纤主要在日本、德国作为数据通信标准使用,至今已有 18 年历史。但由于北美光纤用量大和美国光纤制造及应用技术的先导作用,包括我国在内的多数国家均将 62.5/125 $\mu$ m 多模光纤作为局域网传输介质和室内配线使用。自 20 世纪 80 年代中期以来,62.5/125 $\mu$ m 光纤几乎成为数据通信光纤市场的主流产品。

上述形势一直维持到 20 世纪 90 年代中后期。近几年随局域网传输速率不断升级,50 $\mu$ m 芯径多模光纤越来越引起人们的重视。自 1997 年开始,局域网向 1Gbit/s 发展,以 LED 作光源的 62.5/125 $\mu$ m 多模光纤几百兆的带宽显然不能满足要求。与 62.5/125 $\mu$ m 相比,50/125 $\mu$ m 光纤数值孔径和芯径较小,带宽比 62.5/125 $\mu$ m 光纤高,制作成本也可降

低 1/3。因此,各国业界纷纷提出重新启用 50/125 $\mu\text{m}$  多模光纤。经过研究和论证,国际标准化组织制订了相应标准。但考虑到过去已有相当数量的 62.5/125 $\mu\text{m}$  多模光纤在局域网中安装使用,IEEE802.3z 千兆以太网标准中规定 50/125 $\mu\text{m}$  和 62.5/125 $\mu\text{m}$  多模光纤都可以作为 1Gbit/s 以太网的传输介质使用。但对新建网络,一般首选 50/125 $\mu\text{m}$  多模光纤。50/125 $\mu\text{m}$  多模光纤的重新启用,改变了 62.5/125 $\mu\text{m}$  多模光纤主宰多模光纤市场的局面。

在上述背景基础上,美国康宁和朗讯等大公司向国际标准化机构提出了“新一代多模光纤”概念。

新一代多模光纤是一种 50/125 $\mu\text{m}$  渐变折射率分布的多模光纤。采用 50 $\mu\text{m}$  芯径是因为这种光纤中传输模的数目大约是 62.5 $\mu\text{m}$  多模光纤中传输模的 1/2.5。这可有效降低多模光纤的模式色散,增加带宽。对 850nm 波长,50/125 $\mu\text{m}$  比 62.5/125 $\mu\text{m}$  多模光纤带宽可增加三倍(500MHz.km 比 160MHz.km)。按 IEEE802.3z 标准推荐,在 1Gbit/s 速率下,62.5 $\mu\text{m}$  芯径多模光纤只能传输 270m;而 50 $\mu\text{m}$  芯径多模光纤可传输 550m。实际上最近的实验证实:使用 850nm 垂直腔面发射激光器(VCSEL)作光源,在 1Gbit/s 速率下,50 $\mu\text{m}$  芯径标准多模光纤可无误码传输 1750m(线路中含 5 对连接器),50 $\mu\text{m}$  芯径新一代多模光纤可无误码传输 2000m(线路中含 2 对连接器)。在 10Gbit/s 下,50 $\mu\text{m}$  芯径新一代多模光纤可传输 600m,而具有 200/500MHz.km 过满注入带宽的标准 62.5 $\mu\text{m}$  芯径多模光纤只能传输 35m。

采用 50 $\mu\text{m}$  芯径的另一个原因是以前人们看中 62.5 $\mu\text{m}$  芯径多模光纤的优点,随技术的进步已变得无关紧要。在 20 世纪 80 年代初中期,LED 光源的输出功率低,发散角大,连接器损耗大,使用芯径和数值孔径大的光纤以使尽可能多的光功率注入是必须考虑的。而当时似乎没人想到局域网速率可能会超过 100Mbit/s,即多模光纤的带宽性能并不突出。现在由于 LED 输出功率和发散角的改进、连接器性能的提高,尤其是使用了 VCSEL,光功率注入已不成问题。芯径和数值孔径已不再像以前那么重要,而 10Gbit/s 的传输速率成了主要矛盾,可以提供更高带宽的 50 $\mu\text{m}$  芯径多模光纤则备受青睐。

## 1.5 连接件

主流产品连接件主要有双绞线连接件和光缆连接件。

### 1.5.1 双绞线连接件

110 型线架适用于主干大对数语音(低速率数据)传输连接件。RJ45 适用于水平双绞电缆配线安装连接件,如图 11.1-3~图 11.1-7 所示。

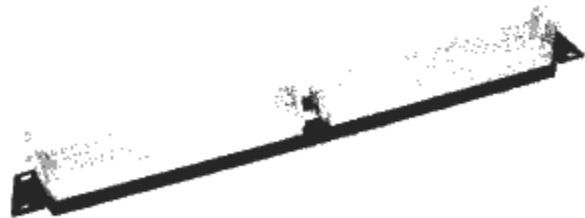


图 11.1-3 110 型线架



图 11.1-4 RJ45 口配线架

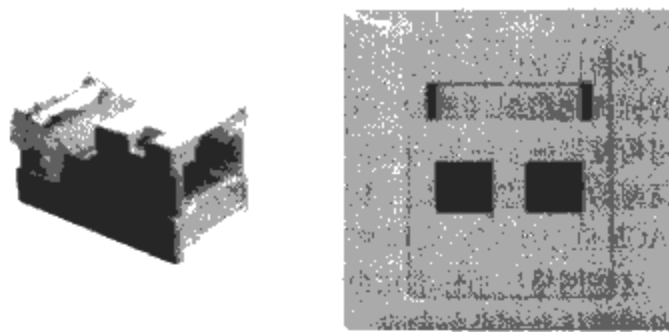


图 11.1-5 对应水平电缆工作区连接件 RJ45 口类型

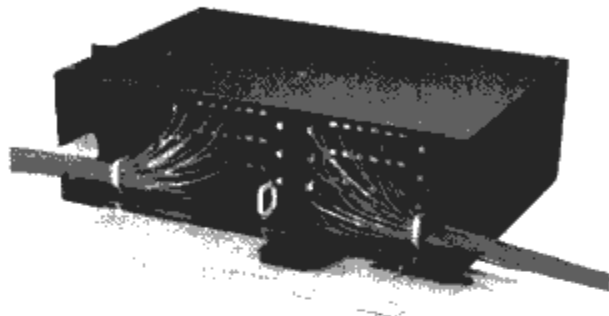


图 11.1-6 电缆连接件



图 11.1-7 对应工作区连接件光纤面板

### 1.5.2 光缆连接件

光纤接口类型常用的有 ST、SC、LC 等几种。

## 1.6 综合布线发展动态

### 1.6.1 概述

回顾历史,综合布线的发展与建筑智能化系统的发展密切相关。传统布线如电话、计算机局域网都是各自独立的。各系统分别由不同的厂商设计和安装,传统布线采用不同的线缆和不同的终端插座。而且,连接这些不同布线的插头、插座及配线架均无法互相兼容。办公布局及环境改变的情况是经常发生的,需要调整办公设备或随着新技术的发展需要更换设备时,就必须更换布线。这样因增加新电缆而留下不用的旧电缆,天长日久,导致了建筑物内一堆堆杂乱的线缆,造成很大的隐患。维护不便,改造也十分困难。

随着全球社会信息化与经济国际化的深入发展,人们对信息共享的需求日趋迫切,就需要一个适合信息时代的布线方案。美国电话电报(AT&T)公司的贝尔(Bell)实验室的专家们经过多年的研究,在办公楼和工厂试验成功的基础上,于 20 世纪 80 年代末期率先推出 SYSTIMATMPDS(建筑与建筑群综合布线系统),现时已推出结构化布线系统 SCS。经中华人民共和国国家标准 GB/T 50311—2000 命名为综合布线 GCS(Generic Cabling System)。

随着电信技术的发展,许多新的电缆被开发出来。国际标准化委员会 ISO/IEC,欧洲标准化委员会 CENELEC 和北美的工业技术标准化委员会 TIA/EIA 都介入了新标准的制定。但是,相应的统一线缆标准仍旧没有颁布。因此,



Cat. 5、Cat. 5+（增强的 Cat. 5）、Cat. 6 及 Cat. 7 类标准的概念，在通信业内存在着一定程度的混乱。另外，由于网络应用的标准化组织（例如 IEEE 802 或 ATM 论坛）也从网络应用角度影响着线缆的规范，这些网络应用的标准化组织为更高速的网络应用制定了标准。这些新的网络应用甚至可以在 ACR 值小于零，即噪声大于信号的布线系统上运行。因此，这些网络应用标准化组织的介入，也在一定程度上影响着布线系统新规范的制定。

千兆位以太网（Gigabit Ethernet）是对布线系统有着深远影响的网络应用。最初，千兆位以太网在北美开发时，意图是在现有的五类非屏蔽双绞线（Cat. 5UTP）上运行千兆位的应用。因此，千兆位以太网几乎将五类非屏蔽双绞线理论上的传输带宽用到了极限。在实际操作中人们认识到，并非所有的五类线缆均可以运行千兆位以太网。由于千兆位以太网的四对全双工传输，远端串扰（FEXT）成为一个突出的问题；而且，回波反射（Returnloss）、综合近端串扰（NEXT）、综合 ACR（Power Sumattenuation to Cross Talk Ratio）和传输延迟（Delay Skew）也成为必须考虑的参数。根据丹麦 3P 实验室的估计，在已经安装的 Cat. 5/ClassD 系统中，有 10%~20% 不能运行千兆位以太网。这个问题在依照北美的 TIA/EIA 标准设计的系统中尤为突出，因为该标准对于特性阻抗（即造成回波反射的主要参数）要求不够严格。

因此，各标准化委员会正在制定用于新的网络应用的布线规范。注意这些新规范的动态，对业界人士和广大用户是非常重要的。

#### 1.6.2 ISO/IEC 11801（国际标准）

ISO/IEC 11801：1995 的修订稿在 1999 年春季颁布。该修订稿将对链路的定义进行修正。ISO/IEC 认为以往的链路定义应被永久链路和通道的定义所取代。此外，将对永久链路和通道的等效远端串扰 ELFEXT（Equal Level FEXT）、综合近端串扰（Power Sum NEXT）、传输延迟（Delay Skew）进行规定。而且，修订稿也将提高近端串扰等传统参数的指标。应当注意的是，修订稿的颁布，可能使一些全部由符合现行 5 类标准的线缆和元件组成的系统达不到 ClassD 类系统的永久链路和通道的参数要求。第二版的 ISO/IEC 11801 规范把 Cat. 5/ClassD 的系统按照 Cat. 5+ 重新定义，以确保所有的 Cat. 5/ClassD 系统均可运行千兆位以太网。更为重要的是，Cat. 6/ClassE 和 Cat. 7/ClassF 类链路在这一版的规范中做了定义。布线系统的电磁兼容性（EMC）问题也在新版的 ISO/IEC 11801 中考虑。

#### 1.6.3 CELENECEN50173（欧洲标准）

一般而言，CELENECEN 50173 标准与 ISO/IEC 11801 标准是一致的。但是，EN 50173 一般比 ISO/IEC 11801 严格。

#### 1.6.4 ANSI/TIA/EIA—568A（北美标准）

TIA/EIA—568A 标准主要应用于北美。TIA/EIA—568A 标准基本上着眼于非屏蔽系统，对屏蔽系统的规定仅限于 FTP。由于 Cat. 6/Cat. 7 标准对屏蔽有严格的要求，TIA/EIA—568A 在相关标准的制定上还有很长的路要走。

新的结构化综合布线标准的制定对于综合布线以及网络的发展有深刻的影响。对于业界人士而言，及时了解布线标准的动态对于产品的开发至关重要；对于用户而言，了解布线标准的发展，对于保护自己的投资是十分重要的。

## 2 标准与规范及设计步骤

### 2.1 标准和规范

#### 2.1.1 国际技术标准和规范

在综合布线设计当中直接或间接有关的国际技术标准、规范有：

- (1) BS 800，EN 55014 无线电干扰极限
- (2) BS 2757，IEC8 绝缘材料的分类
- (3) BS 7430 接地规范
- (4) BS 7671 房屋装置的接线法规
- (5) CCITT 有关标准
- (6) DELTA 或 3P 或 ETL 实验室批准的列表
- (7) ANSI—TIA/EIA 568B.2—1《商业建筑通信布线系统标准关于六类布线的定义》
- (8) ANSI—EIA/TIA—568B 标准《商业建筑通信布线系统标准》
- (9) ANSI—EIA/TIA—569A 标准《商业建筑电信通道及空间标准》
- (10) ANSI—EIA/TIA—570—B 标准《住宅和小型商用通信布线标准》
- (11) ANSI—EIA/TIA—606—A 标准《商业建筑物电信基础结构管理标准》
- (12) ANSI—J—STD—607—A 标准《商业建筑物接地和接线规范》
- (13) ISO/IEC 11801：2002Ed2.0《建筑及建筑群结构化综合布线系统国际标准》
- (14) IEC 60332—1、IEC 60754《线缆防火等级国际标准》
- (15) IEEE 802.3（ISO/IEC 8802—3：1992）《总线网载波监听多路访问和冲突检测，CSMD/CD 介质访问控制方法及物理层》
- (16) EN50173《欧洲布线标准关于 ClassE 六类布线的最新要求》
- (17) EN55022《欧洲信息技术设备的无线电干扰特性极限值和测量方法》

#### 2.1.2 国家、行业标准和规范

- (1) GB/T 50311—2007《建筑与建筑群综合布线系统工程设计规范》
- (2) GB/T 50312—2007《建筑与建筑群综合布线系统工程施工与验收规范》
- (3) CECS 72：97《建筑与建筑群综合布线工程设计规范》
- (4) GB/T 50314—2006《智能建筑设计标准》

### 2.2 设计步骤

综合布线系统的设计一般有六个步骤：

- 1) 获取相关平面图。
- 2) 分析用户需求。
- 3) 系统结构设计。该部分需与网络设计及其他应用相一致。
- 4) 布线平面设计。确定配线间（设备间）及主干桥架路由、水平桥架路由与敷设方式。
- 5) 绘制布线施工图。
- 6) 编制设备材料清单。

### 3 综合布线系统要求与技术规格

#### 3.1 总体性能要求

综合布线系统要求具有先进性、开放性、灵活性、可靠性、冗余性,达到使用灵活、扩充方便、管理简便、维护容易的高标准布线系统目标,并在可以控制的成本之下保持一定时期的先进性。

总体性能要求主要是要确定综合布线光缆、大对数铜缆、水平线缆及对应的端接设备需要的性能指标。

#### 3.2 总体功能要求

1) 要求采用开放式结构,适用于主流网络拓扑结构,并能适应不断发展的网络技术的需求,能支持综合信息传输和计算机数据通信、话音通信、图像传输以及其他的数据通信等多种应用类型。

2) 采用模块化结构,保证系统能很容易地扩充和升级。系统中任何一个信息点都能够连接不同类型的计算机设备和其他信息设备。对任一个分支单元的改动都不会影响系统的其他单元。能在设备布局 and 需要发生变化时实施灵活的线路管理。

3) 要求能够保证系统很容易地扩充和升级而不必更动整体配线系统。

4) 要求综合布线系统保证实现信息安全、可靠地传输。

5) 应有一定的冗余度,能适应发展的要求。

6) 提供有效的工具和手段,能够简单、方便进行线路故障的分析、检测和故障隔离,当故障发生时,可迅速找到故障点并加以排除。

7) 能够适应较复杂的空间使用环境,保证不受高频电气设备、空间电磁波辐射干扰,并保证在综合布线系统中传输的各类信号之间互不干扰。

8) 需提供较强的系统管理能力,可以有效地进行系统管理、系统维护、系统故障的排除。

#### 3.3 系统及主要设备一般技术要求

设计人员需要根据投资人及项目的使用需求或投资规模确定系统及主要设备的技术性能,应注意避免针对某个特定品牌的设计。

以某六类工程为例:

1) 所选品牌必须为全系列产品,并端到端只准使用同一品牌的产品,包括各种线缆、配线架、模块和面板、跳线、连接器等。机柜/机架及其配件等可采用与上述产品不同品牌,机柜/机架的颜色、样式、外观等需要由投资方确定。

2) 所有线缆在敷设过程中必须一根线缆敷设到位,中间不得有断点。

3) 所有机架/机柜内各配线架的摆放及线缆的走向必须合理,接插件、模块及跳线的标志齐全,线缆终端必须有编号和颜色标签,以标明线号、线位、区号和房号。

4) 信息插座面板应有标识,以色标和编号表示插座类型和连接线缆号,以颜色、图形、文字表示所接终端设备的类型。

5) 要求采用标准模块化的接插件,以便今后的管理和使用。

6) 必须保证设备或材料的防火、阻燃和防止由于燃烧释放出对人体有害的氯素有毒气体造成的人员不安全因素,

所有室内线缆护套均要求采用符合 IEC 60754 标准的低烟无卤材料,并满足防火等级 IEC 60332—1 标准。

7) 要充分考虑今后的维修工作,应能使用模块化接插件方式或插入式延伸器进行在线检测、维护操作,零部件、易损部件应很容易地拆卸、清洁、更换。

8) 用于设备通风、降温的部件(如机柜风扇等),必须能连续正常工作50 000h以上。

9) 设备、零部件(包括线缆、连接器、控制面板、开关、警告牌等)必须有永久、易识别的标志,而且必须为中文或中英文对照。

### 4 系统规划

#### 4.1 系统总体规划

一般来说,国际信息通信标准是随着科学技术的发展,逐步修订、完善的。综合布线系统也是随着新技术的发展和产品的问世,逐步完善而趋向成熟。我们在设计智能建筑时,提出并研究近期和长远的需求是非常必要的。目前国际上各综合布线产品都只提出×年质量保证体系,并没有提出多少年投资保证。为了保护建筑物投资者的利益,可以采取“总体规划,分布实施,水平布线尽量一步到位”的原则。主干线大多数都设置在建筑物弱电井,更换或扩充比较省事;水平布线布置建筑物的天花板内的管道里,施工费比初始投资的材料费高。如果更换水平布线,要损坏建筑装饰,影响整体美观。因此我们在设计水平布线时,尽量选用档次较高的线缆及连接件,缩短布线周期。

#### 4.2 系统设计

星形拓扑结构布线方式,具有多元化的功能,可以使任一子系统单独地布线,每一子系统均为一独立的单元组,更改任一子系统时,均不会影响其他子系统。一个设计合理的综合布线系统,其目标是,在既定时间以外,允许在有新需求的应用过程中,不必再去进行水平布线,损坏建筑装饰而影响美观。

根据实际需要,我们将综合布线系统的建设标准分为三个等级:

##### (1) 最低配置

每一个工作区设置1个8位模块式通用插座(RJ45),该插座可以支持任何终端设备的连接,一般只在工程等级很低或资金短缺的情况下采用。

##### (2) 基本配置

每一个工作区设置2个或2个以上的8位模块式通用插座,通常考虑一个插座支持语音的应用,另一个插座应用于计算机网络。但是对于某些工程在配置插座时应有较大的余地。比如写字楼或已明确的房间布置的情况下,应结合常驻房间内人员密度或工作席位的情况每个单位应配置双口信息点;对于大开间的办公室可采用信息综合点、地面均匀布置地插方式配置;对于大面积的会议中心、会展中心等建筑区域,可采用综合布线与无线局域网络相结合的配置方案。因此基本配置型具有较大的灵活性,完全取决于目标用户的性质及投资者的投资规模。

##### (3) 综合配置

在综合配置的基础上增加光纤至桌面(FTTO)的光插座。此种配置适用于工程等级较高或用户对于信息量信息保密、网络安全与信息资源开放等有需求的场地,主要归纳为以下几种情况:



1) 布线的环境中存在着干扰源(电场与磁场),有数据屏蔽需求,采用屏蔽布线无法解决时。

2) 某些企业与公司自建的计算机企业网有特殊应用需求。

3) 对一些工作区的位置无法确定需采用区域配线和多媒体综合设施加以解决时。

4) 对于布线的现场安装条件不能满足综合布线,对于工作区信息插座,配置时应根据建筑物每一层房屋的功能和用户的实际需求进行,而不是硬性地采用某种固定的模式。

工作区面积的定义,相关规范当中已有描述,范围为 $5\sim 10\text{m}^2$ ,应结合投资情况及工作区用途情况确定工作区面积值,同样不能一味硬行采用某种固定模式。

## 5 系统主要功能子系统

### 5.1 综述

- (1) 建筑群子系统
- (2) 管理子系统
- (3) 设备间
- (4) 干线子系统
- (5) 配线(水平)子系统
- (6) 工作区

### 5.2 建筑群子系统

建筑群子系统,就是由两个以上建筑物的电话、数据组成一个建筑群综合布线系统,其连接各建筑物之间的缆线和配线设备,组成建筑群子系统。

建筑群子系统应由连接各建筑物之间的综合布线缆线、建筑群配线设备(CD)和跳线等组成。

建筑群干线电缆、光缆、公用网和专用网电缆、光缆(包括天线馈线)进入建筑物时,都应设置引入设备,并在适当位置终端转换为室内电缆、光缆。引入设备还包括必要的保护装置。引入设备宜单独设置房间,如条件合适也可与BD或CD合设。

建筑群子系统应采用地下管道或电缆沟的敷设方式,管道内敷设的铜缆或光缆应遵循电话管道和入孔的各项设计规定。此外安装时至少应预留 $1\sim 2$ 个备用管孔,以供扩充之用。

### 5.3 管理子系统

#### (1) 管理子系统组成

管理子系统设置在每层配线设备的房间内。管理子系统应由交接间的配线设备、输入/输出设备等组成,也可应用于设备间子系统。管理子系统提供了与其他子系统连接的手段。交接使得有可能安排或重新安排路由,因而通信线路能够延续到连接建筑物内部的各个信息插座,从而实现综合布线系统的管理。

#### (2) 管理子系统设计要点

1) 管理子系统宜采用单点管理双交接。交接场的结构取决于工作区、综合布线系统规模和选用的硬件。在管理规模大、复杂、有二级交接间时,才设置双点管理双交接。在管理点,宜根据应用环境用标记插入条来标出各个端接场。单点管理位于设备间里面的交换机附近,通过线路不进行跳线管理,直接连至用户房间或服务接线间里面的第二个接线交接区。双点管理除交接间外,还设置第二个可管理的交

接。双交接为经过二级交接设备。在每个交接区实现线路管理的方式是在各色标场之间接上跨接线或插接线,这些色标用来分别标明该场是干线电缆、配线电缆或设备端接点。这些场通常分别分配给指定的接线块,而接线块则按垂直或水平结构进行排列。

2) 交接区应有良好的标记系统。如建筑物名称、建筑物位置、区号、起始点和功能等标记。综合布线系统通常使用三种标记:电缆标记、场标记和插入标记,其中插入标记最常用。这些标记通常是硬纸片或其他方式,由安装人员在需要时取下来使用。

3) 交接间及二级交接间的本线设备宜采用色标区别各类用途的配线区。

4) 交接设备连接方式的选用应符合下列规定。对楼层上的线路较少进行修改、移位或重新组合时,宜使用夹接方式,在经常需要重组线路时使用插接方式。

5) 在交接场之间应留出空间,以便容纳未来扩充的交接硬件。

### 5.4 设备间

#### (1) 设备间子系统组成

设备间子系统应由综合布线系统的建筑物进线设备、电话、数据、计算机等各种主机设备及其保安配线设备等组成。设备间子系统的电话、数据、计算机主机设备及其保安配线设备宜集中设在一个房间内。必要时,可以分别设置,但程控电话交换机及计算机主机房离设备间的距离不宜太远。

#### (2) 设备间子系统的设计要点

设备间内的所有进线终端设备宜采用色标区别各类用途的配线区。

设备间位置及大小应根据设备的数量、规模、最佳网络中心等内容,综合考虑确定。

### 5.5 干线子系统

干线子系统应由设备间的配线设备和跳线以及设备间至各楼层配线间的连接电缆组成。

#### 干线子系统设计要点:

1) 在确定干线子系统所需要的电缆总对数之前,必须确定电缆中语音和数据信号的共享原则。对于基本型,每个工作区可选定2对双绞线;对于增强型,每个工作区可选定3对双绞线;对综合型,每个工作区可在基本型或增强型的基础上增设光缆系统。应选择干线电缆最短、最安全和最经济的路由。

2) 干线电缆可采用点对点端接,也可采用分支递减端接以及电缆直接连接方法。点对点端接是最简单、最直接的接合方法,干线子系统每根干线电缆直接延伸到指定的楼层和交接间。分支递减端接是用1根大容量干线电缆足以支持若干个交接间或若干楼层的通信容量,经过电缆分接箱分出若干根小电缆,它们分别延伸到每个交接间或每个楼层,并端接于目的地的连接硬件。电缆直接连接方法是特殊情况使用的技术,一种情况是一个楼层的所有水平端接都集中在干线交接间,另一种情况是二级交接间太小,在干线交接间完成端接。

3) 如果设备间与计算机机房处于不同的地点,而且需要把语音电缆连至设备间,把数据电缆连至计算机房,则宜在设计时选取不同的干线电缆或干线电缆的不同部分来分别满足不同路由语音和数据的需要。当需要时,也可采用光缆

系统予以满足。

### 5.6 配线（水平）子系统

水平子系统由工作区的信息插座、每层配线设备至信息插座的水平电缆等组成。

水平子系统应按以下要求进行设计：

- 1) 根据工程提出近期和远期的终端设备要求。
- 2) 每层需要安装的信息插座数量及其位置。
- 3) 终端将来可能产生移动、修改和重新安排的详细情况。
- 4) 一次性建设与分期建设的方案比较。
- 5) 水平子系统通常采用 4 对双绞线，高速应用场合可选用光缆。
- 6) 水平电缆长度应为 90m 以内。
- 7) 综合布线系统的信息插座应按下列原则选用：
  - ① 单个连接的 8 芯插座宜用于基本型系统。
  - ② 双个连接的 8 芯插座宜用于增强型系统。
  - ③ 综合布线系统设计可采用多种类型的信息插座。

### 5.7 工作区

#### (1) 工作区子系统设计要点

一个独立的需要设置终端设备的区域宜划分为一个工作区，工作区子系统应由配线（水平）布线系统的信息插座延伸到工作站终端设备处的连接电缆及适配器组成，一个工作区的服务面积可按  $5 \sim 10\text{m}^2$  估算，每个工作区设置一个电话机或计算机终端设备，或按用户要求设置。工作区的每一个信息插座均应支持电话机、数据终端、计算机等终端设备的接入。工作区子系统包括办公室、写字间、作业间、技术室等需用电话、计算机终端等设施的区域和相应设备的统称。

#### (2) 工作区适配器的选用应符合的要求

在设备连接器处采用不同信息插座的连接器时，可以用专用电缆或适配器。

当在单一信息插座上开通 ISDN 业务时，应用网络终端适配器。

在配线（水平）子系统中选用的电缆（介质）不同于设备所需的电缆（介质）时，宜采用适配器。

在连接使用不同信号的数模转换或数据速率转换等相应的装置时，宜采用适配器。

对于网络规程的兼容性，可用配合适配器。

根据工作区内不同的电信终端设备可配备相应的终端适配器。

## 第 2 章 数字程控用户交换机系统

### 1 电话交换机的发展历程和分类

#### 1.1 电话交换机的发展历程

自 1876 年美国贝尔发明电话以来,随着社会需求的日益增长和科技水平的不断提高,电话交换机技术处于迅速的变革和发展之中。其历程可分为三个阶段:人工交换、机电式自动交换和电子式自动交换阶段。

##### (1) 人工交换阶段

早在 1878 年就出现了人工交换机,它是借助话务员进行话务接续,显然其效率是很低的。包括磁石式电话交换机和共电式电话交换机。

##### (2) 机电式自动交换机

15 年后步进制交换机 (Step by Step System) 问世,它标志着交换技术从人工时代迈入机电交换时代。这种机电交换机属于“直接控制”方式,例如史端乔 (Strowger) 式自动电话交换机和德国西门子式自动交换机。而机电制交换机属于“间接控制”方式,例如旋转制或升降制电话交换机。在这一阶段,有电路技术简单、人员培训容易的特点,但是存在噪声大、易磨损、维护工作量大、接线速度慢等缺陷。

##### (3) 电子式自动交换阶段

随着半导体器件和计算机技术的诞生与迅速发展,1965 年美国生产了世界上第一台商用存储程序控制的电子交换机 (ESSNo. 1),这一成果标志着电话交换机从机电时代跃入电子时代,使交换技术发生时代的变革。由于电子交换机具有体积小、速度快、便于提供有效而可靠的服务等优点,引起世界各国的极大兴趣。在发展过程中相继研制出各种类型的电子交换机。

#### 1.2 电话交换机的分类

##### (1) 按控制方式主要分为两大类程控交换机

1) 布线逻辑控制 (WLC),它是通过布线方式实现交换机的逻辑控制功能。通常这种电话交换机仍使用机电接线器而将控制部分更新成电子器件,因此称它为布控半电子式交换机。

2) 存储程序控制 (SPC),它是将用户的信息和交换机的控制、维护管理功能预先编成程序,存储到计算机的存储器内,当交换机工作时,控制部分自动监测用户的状态变化和所拨号码,并根据要求执行程序,从而完成各种交换功能。通常这种交换机属于全电子型,采用程序控制方式,因此称为存储程序控制交换机或简称为程控交换机。

##### (2) 按接续方式可分为空分和时分交换机

##### (3) 按信息传送方式可分为模拟交换机和数字交换机

1) 由于程控空分交换机的接续网络 (或交换网络) 采用空分接线器 (或交叉点开关阵列),且在话路部分中一般传送和交换的是模拟语音信号,因而习惯称为程控模拟交换机,这种交换机不需进行语音的模数转换 (编解码),用户电路简单,因而成本低,目前主要用作小容量模拟用户交换机。

2) 程控时分交换机一般在话路部分中传送和交换的是数字语音信号,因而习惯称为程控数字电话交换机,随着数字通信与脉冲编码调制 (PCM) 技术的迅速发展和广泛应用,世界各先进国家自 20 世纪 60 年代开始以极大的热情竞相研制数字程控交换机,法国首先于 1970 年在拉尼翁 (Lanion) 成功开通了世界上第一个程控数字交换系统 E10,它标志着交换技术从传统的模拟交换进入数字交换时代。由于程控数字交换技术的先进性和设备的经济性,使电话交换跨上了一个新的台阶,而且对开通非话业务,实现综合业务数字交换奠定了基础,因而成为交换技术的主要发展方向,随着微处理器技术和专用集成电路的飞跃发展,程控数字交换的优越性愈加明显地展现出来。目前所生产的中大容量的程控机全部为数字式的电话交换机。

##### (4) 按用途可分为市话、长话和用户电话交换机

世界各国研制与生产出众多各具特色的程控数字交换机,比较有代表性的见表 11.2-1。

表 11.2-1 世界各国的程控数字交换机

序号	国 家	名 称	产 品
1	荷兰	飞利浦公司	SOPHO-S/IS
2	英国	GPT 公司	ISDX
3	德国	SIEMENS 公司	HICOM
4	德国	SIEMENS 公司	EWSD-601
5	瑞典	ERICSSON 公司	MD-110
6	瑞典	ERICSSON 公司	AXE-10
7	美国	HARRIS 公司	HARRIS20-20
8	美国	AT&T 公司	ESSNo. 5
9	美国	TELEX 公司	SCX-1200, 5000
10	美国	TAI 公司	MSX
11	中国、比利时	上海贝尔电话设备公司	S-1240
12	比利时	ITT-BTM 公司	ITT-1240
13	加拿大	MITEL 公司	SX-2000
14	加拿大	NORTHERN TELECOM 公司	DMS-100, 200, 300
15	加拿大	NORTHERN TELECOM 公司	MSL-1
16	法国	CIT-ALCATEL 公司	E10B, S
17	日本	NTT 公司	D60, 70
18	日本	NEC 公司	NEAX-61

20 世纪 90 年代后,我国逐渐出现了一批自行研制的具有国际先进水平的大中型容量的数字程控局用交换机,典型的如深圳华为技术有限公司的 C&C08 系列、西安大唐电信有限公司的 SP30 系列、深圳中兴新通信设备有限公司的 ZXJ 系列等等,这些交换机的出现,表明在窄带交换机领域,我们国家的研发技术已经达到了世界水平。随着时代的发展,目前的电话交换机系统逐渐融合 ATM、无线通信、接入网技术、HDSL、ASDL、视频会议等先进技术。可以想象,今后的交换机系统,将不仅仅是语音传输系统,而是一个包含声音、文字、图像的高比特宽带传输系统,并深入

到千家万户之中。

### 1.3 程控交换机的特点与技术动向

#### (1) 程控数字交换机定义

它是现代数字通信技术、计算机技术与大规模集成电路 (LSI) 有机结合的产物。先进的硬件与日臻完美的软件综合于一体, 赋予程控交换机以众多的功能和特点, 使它与机电交换机相比, 有以下优点:

1) 体积小, 重量轻, 功耗低, 它一般只有纵横制交换机体积的  $1/8 \sim 1/4$ , 大大压缩了机房占用面积, 节省了费用。

2) 能灵活地向用户提供众多的新服务功能。由于采用 SPC 技术, 因而可以通过软件方便地增加或修改交换机功能, 向用户提供新型服务, 如缩位拨号、呼叫等待、呼叫传递、呼叫转移、遇忙回叫、热线电话、会议电话, 给用户带来很大的方便。

3) 工作稳定可靠, 维护方便, 由于程控交换机一般采用大规模集成电路 (LSI) 电路或专用集成电路 (ASIC), 因而有很高的可靠性。它通常采用冗余技术或故障自动诊断措施, 以进一步提高系统的可靠性。

4) 便于采用新型共路信号方式 (CCS)。由于程控数字交换机与数字传输设备可以直接进行数字连接, 提供高速公路信号信道, 适于采用先进的 CCITT7 号信令方式, 从而使得信令传送速度快、容量大、效率高, 并能适应未来新业务与交换网控制的特点, 为实现综合业务网 (ISDN, Integrated Services Digital Network) 创造必要的条件。

5) 易于与数字终端、数字传输系统连接, 实现数字终端传输与交换的综合与统一。可以扩大通信容量, 改善通话质量, 降低通信系统投资, 并为发展综合数字网 (IDN) 和综合业务数字网 (ISDN) 奠定基础。

#### (2) 程控交换技术的发展趋势

1) 研制新型专用大规模集成电路, 提高硬件集成度和模块化水平, 以进一步减少体积, 降低成本, 增强功能及提高可靠性。

2) 提高控制的分散、灵活程度和可靠性, 逐步采用全分散方式。

3) 采用 CCITT (ITU) 建议的高级语言 (如 CHILL、SDL、MML), 提高软件水平和模块化速度。加强支援系统的开发, 建立强大的软件生成系统。

4) 积极推行共路信号系统。

5) 逐步引入非话业务, 如数据、图文传真、用户电报 (Telex) 与智能用户电报 (Teletax)、可视数据 (Videotex)、图文传视 (Teletext) 及电子邮件 (E-mail)、图像信息等, 开发相应的接口, 构成综合信息交换系统。

6) 增强程控交换系统与其他类型通信网 (如传真网、分组交换网或公用数据网、计算机局域网等) 的接口、联接与组网能力。

7) 为适应高速信息业务日益增长的需求和光纤通信的发展, 开展宽带综合业务数字网 (B-ISDN) 环境下交换理论体制与关键技术的研究。目前研究的重点之一为异步转移方式 ATM。

## 2 程控用户交换机概述

### 2.1 基本构成

电话交换机的主要任务是实现用户间通话的接续。基本划分为两大部分: 话路系统和控制系统。话路系统主要包括

各种接口电路 (如用户线接口和中继线接口电路等) 和交换网络; 控制系统包括中央处理器 (CPU)、存储器和输入/输出设备。图 11.2-1 是程控交换机系统的基本框图。

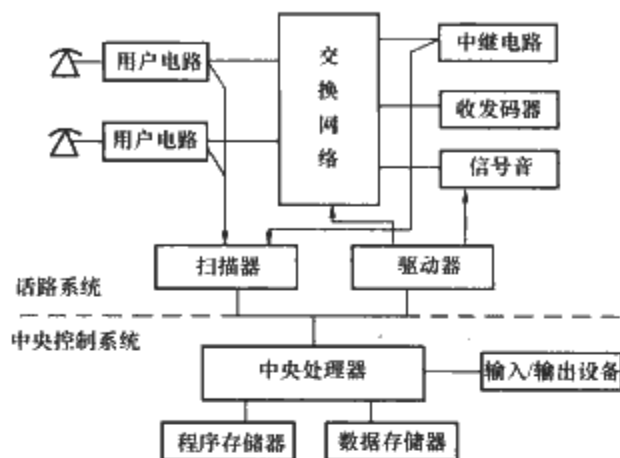


图 11.2-1 程控交换机系统基本框图

程控交换机实质上是采用计算机进行“存储程序控制”的交换机, 它将各种控制功能、方法编成程序, 存入存储器, 利用对外部状态的扫描数据和存储程序来控制、管理整个交换系统的工作。

#### 2.1.1 话路系统

话路系统由交换网络、用户电路、中继器和信号终端等几部分组成。

##### (1) 交换网络

交换网络的基本功能是根据用户的呼叫要求, 通过控制部分的接续命令, 建立主叫与被叫用户间的连接通路。目前主要采用由电子开关阵列构成的空分交换网络和由存储器等电路构成的时分接续网络。

##### (2) 用户电路

用户电路的作用是实现各种用户线与交换之间的连接, 通常又称为用户线接口电路 (SLIC)。根据交换机制式和应用环境的不同, 用户电路也有多种类型, 对于程控数字交换机来说, 目前主要有与模拟话机连接的模拟用户线电路 (ALC) 及与数字话机、数据终端 (或终端适配器) 连接的数字用户线电路 (DLC)。

模拟用户线电路是适应模拟用户环境而配置的接口, 其基本功能有:

1) 馈电 (Battery feed): 交换机通过用户线向共电式话机直流馈电。

2) 过电压保护 (Overvoltage Protection): 防止用户线上的电压冲击或过压而损坏交换机。

3) 振铃 (Ringing): 向被叫用户话机馈送铃流。

4) 监视 (Supervision): 借助扫描点监视用户线通断状态, 以检测话机的摘机、挂机、拨号脉冲等用户线信号, 转送给控制设备, 以表示用户的忙闲状态和接续要求。

5) 编解码 (CODEC): 利用编码器和解码器 (CODEC)、滤波器, 完成话音信号的模数与数模交换, 以与数字交换机的数字交换网络接口。

6) 混合 (Hybrid): 进行用户线的 2/4 线转换, 以满足编解码与数字交换对四线传输的要求。

7) 测试 (Test): 提供测试端口, 进行用户电路的测试。

这 7 种功能常用第一个字母组成的缩写词 (BOR-SCHT) 代表。对于模拟程控交换机, 不需要编解码功能; 而在数字程控交换机中, 除某些特定应用的小型交换机利用增量调制方式外, 其他大部分均采用 PCM 编解码方式。

数字用户线电路是为适应数字用户环境而设置的接口，它主要用来通过线路适配器（LAM）或数字话机（SOPHO-SET）与各种数据终端设备（DTE）如计算机、打印机、VDU、电传相连。

### （3）出入中继器

出入中继器是中继线与交换网络间的接口电路，用于交换机中继线的连接。它的功能和电路与所用的交换系统的制式及局间中继线信号方式有密切的关系。对模拟中继接口单元（ATU），其作用是实现模拟中继线与交换网络的接口，基本功能一般有：

- 1) 发送与接收表示中继线状态（如示闲、占用、应答、释放等）的线路信号。
- 2) 转发与接收代表被叫号码的记发器信号。
- 3) 供给通话电源和信号音。
- 4) 向控制设备提供所接收的线路信号。

对于最简单的情况，某一交换机的中继器通过实线中继线与另一交换机连接，并采用用户环路信令，则该模拟中继器的功能与作用等效为一部“话机”。若采用其他更为复杂的信号方式，则中继器应实现相应的语音信令的传输与控制功能。

数字中继线接口单元（DTU）的作用是实现数字中继线与数字交换网络之间的接口，它通过 PCM 有关时隙传送中继线信令，完成类似于模拟中继器所应承担的基本功能。但由于数字中继线传送的是 PCM 群路数字信号，因而它具有数字通信的一些特殊问题，如帧同步、时钟恢复、码型交换、信令插入与提取等，即要解决信号传送、同步与信令配合三方面的连接问题。

数字中继接口单位的基本功能包括帧与复帧同步码产生、帧调整、连零抑制、码型变换、告警处理、时钟恢复、帧同步搜索及局间信令插入与提取等。

### 2.1.2 控制系统

控制部分是程控交换机的核心，其主要任务是根据外部用户与内部维护管理的要求，执行存储程序和各种命令，以控制相应的硬件实现交换及管理功能。

程控交换机控制系统的主体是微处理器，通常按其配置与控制工作方式的不同，可分为集中控制和分散控制两类。为了更好地适应软硬件模块化的要求，提高处理能力及增强系统的灵活性与可靠性，目前程控交换系统的分散控制程度日趋提高，已广泛采用部分或完全分布式控制方式。

图 11.2-2 是程控数字用户交换机的系统构成示例图。

### 2.1.3 信令系统（Signaling System）

在交换机内各部分之间或者交换机与用户，交换机与交换机间，除传送语音、数据等业务信息外，还必须传送各种专用的附加控制信号（信令），以保证交换机协调动作，完成用户呼叫的处理、接续、控制与维护管理功能。

按信令的作用区域划分，可分为用户线信令与局间信令，前者在用户线上传送，后者在局间中继线上传送。如果按信令的功能划分，则可分为监视信令、地址信令与维护管理信令。

#### （1）用户线信令

它是在用户与交换机之间用户线上传送的信令。对于模拟电话用户线，这种信令包括：

- 1) 监视信令。此信令反映直流用户环路通断的各种用户状态信号，如主叫用户摘机（off-hook）（呼出占用），主叫用户挂机（on-hook）（正在清除或拆线）及被叫用户摘机（应答），被叫用户挂机（反向清除或拆线）。交换机检测到

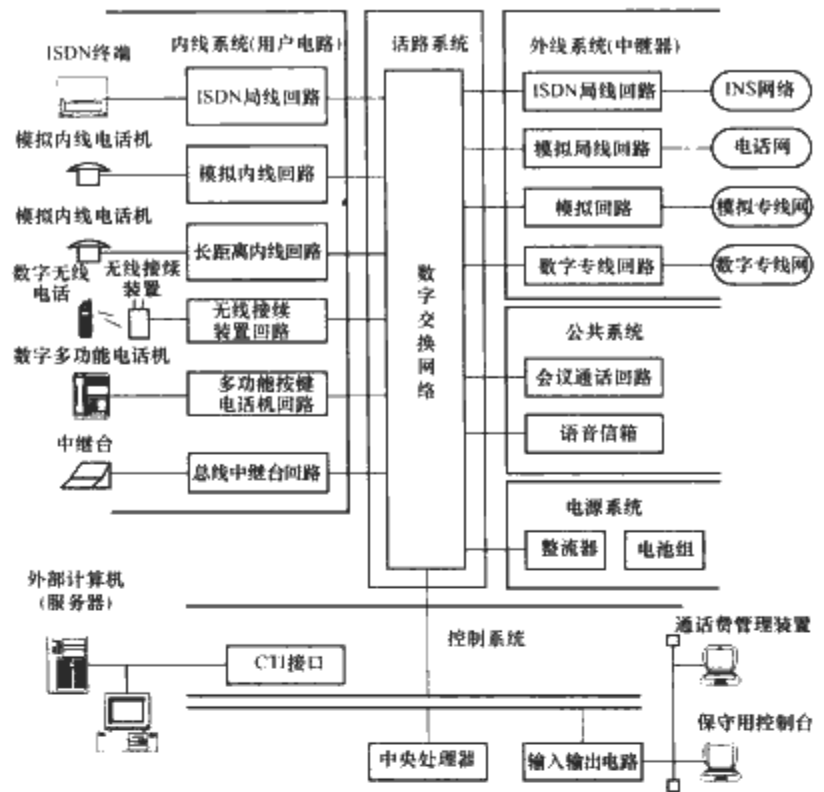


图 11.2-2 程控数字交换机的构成示例

这些信号时便会执行相应的软件，产生有关的动作，如交换机向主叫用户发拨号音或忙音、回铃音等，或向被叫用户馈送振铃信号等。

2) 地址信令（被叫号码）。此信令为主叫用户发送的被叫号码，交换机识别后控制交换网络进行接续。目前广泛应用的模拟话机有两类：脉冲式话机与双音频式话机。

①直流脉冲信号。拨号盘话机或脉冲式按键式话机发送直流脉冲信号，通过话机拨号控制用户环路电路断续而产生直流脉冲串。

②双音多频信号。程控交换机的快速多频按键话机所发送的拨号信号，不再用脉冲而用同时发送的“双音”表示一个数字。

#### （2）局间信令

此信令是在交换机或交换局之间中继线上传送的信号，用以控制呼叫的接续。由于目前使用的交换机制式和中继传输信道类型很多，组网涉及面广，因而局间信令比较复杂。为保证通信网中电话交换机互通，必须建立统一的国际与国内标准。

根据信令通道与语音通路的关系，可将局间信令分为随路信令（Channel Associated Signaling, CAS）与共路信令（Common Channel Signaling, CCS）；若按信道与信号的形式，又可分为直流、交流与数字型信令。如同用户线信令，也可将局间信令按功能分为监视信令、地址信令与管理信令。

各种机电式交换机都采用随路信令，虽然目前程控数字交换机仍多采用随路信令，但它一般具有采用共路信令的功能与潜力。为充分发挥程控数字交换系统的优点，采用先进的共路信令是当前程控交换技术的一个重要发展方向。

1) 随路信令。将话路所需要的控制信号由该话路本身或与之有固定联系的一条信令通道来传送，即用同一通路传送语音信息和与其相应的信令。

2) 共路信令。将一组话路所需的各种控制信号集中到一条与语音通路分开的公共信号数据链路上进行传送。CCITT No. 7 号信令是一种目前最先进，应用最广泛的国际标准化共路信令系统，由于它将信令和语音通路分开，可采用高速数据链路传送信令，因而具有传送速度快，呼叫建立



时间短,信号容量大,更改与扩容灵活及设备利用率高等优点。

## 2.2 程控用户交换机的类型与功能

### 2.2.1 用户交换机的作用

用户交换机是机关工矿企业等单位内部进行电话交换的一种专用电话交换机,其基本功能是完成单位内部用户的相互通话,但也装有出入中继线可接入公用电话网的市内网部分和网中用户通话(包括市内通话、国内长途通话和国际长话)。由于这类交换机为单位内部专用,故可根据用户需要增加若干附加性能以提供使用上的方便。因此这类电话交换机具有较大的灵活性。

用户交换机是市话网的重要组成部分,是市话交换机的一种补充设备,因为它为市话网承担了大量的单位内部用户间的话务量,减轻了市话网的话务负荷。另外用户交换机在各单位分散设置,更靠近用户,因而缩短了用户线距离,节省了用户电缆。同时用少量的出入中继线接入市话网,起到话务集中的作用。从这些方面讲,使用用户交换机都有较大的经济意义。因此公用网建设中,不能缺少用户交换机的作用。

用户交换机在技术上的发展趋势是采用程控用户交换机,采用新型的程控数字用户交换机不仅可以交换电话业务,而且可以交换数据等非话业务,做到多种业务的综合交换、传输。为各单位组建综合业务数字网(ISDN)创造了条件,目前已可接入ISDN用户。

### 2.2.2 程控用户交换机的类型

程控用户交换机有很多种类型,从技术结构上划分为程控空分用户交换机和程控数字用户交换机两种。前者是对模拟话音信号进行交换,属于模拟交换范畴。后者交换的是PCM数字话音信号,是数字交换机的一种类型。

如果按用途进行分类,可分为通用性程控用户交换机和专用型程控用户交换机两大类。通用型适用于一般企业、事业单位、工厂、机关、学校等以话音业务为主的单位。容量一般在几百门以下,且其内部话务量所占比重较大,一般占总发话话务量的70%左右。目前国内生产的200门以下的程控空分用户交换机均属此种类型,其特点是系统结构简单,体积较小,使用方便,价格便宜,维护量较少。专用型适用于各种不同的单位,根据各单位专门的需要提供各种特殊的功能。

下面分别说明几种专用型程控电话交换机:

#### (1) 宾馆型

宾馆型程控用户交换机出入局话务量大,不需要直接拨入功能(DID),为此话务台功能要强。为满足客人打长途电话的需要,应具有PAMA(Private Automatic Message Accounting)计费功能。为满足宾馆客房管理软件,提供了以下功能:

- 1) 房间控制。客人离店结账电话自动闭锁。
- 2) 留言中心。对临时外出的客人的来话呼叫,提供留言服务。
- 3) 客房状态。随时提供客房占用、空闲、是否打扫的情况。
- 4) 自动叫醒。按客人需要,准时叫醒客人。
- 5) 请勿打扰。为客人提供安静环境,客人在电话输入指令后,任何电话不能呼入,但超过一定时限失效。
- 6) 综合话音和数据系统。使商务办公人员通过个人计算机从远处计算机或数据库,取得重要商业信息及资料。

#### (2) 医院型

这是装有医院特点软件的专用程控交换机。软件功能中除具有宾馆功能外,还具有呼叫寄存、呼叫转移、病房紧急呼叫、热线电话及配合救护车的移动通信接口的功能。

#### (3) 银行型

银行型专用软件包括总行和分行间的通信联络、呼叫代答、警卫线路、外线保留等。同时具备办公自动化PABX的功能。

#### (4) 办公自动化型(OA)

1) 办公室人员需要现代化的话音通道程控交换机完成一流的话音通信要求。呼出要求快速自动直拨,即缩位拨号功能。呼入要求全自动呼入,即DID(Direct Inward Dialing)功能,避免话务员介入,提高效率。

2) 要解决办公桌的微机通过程控交换机使用内部的数据资源和外部的数据库。目前程控用户交换机能提供传输速率为144kbit/s的用户线数字传输通道。即2B+D(64kbit/s传输话音,64kbit/s传输数据,16kbit/s传输信令)。并且通过异步、同步适配器传输方式,传输电报、传真、文字及固定图像等。先进的第四代程控电话交换机可提供2Mbit/s的传输通路,还可开展宽带非话业务,传输动态图像和电视电话等。

3) 提供X.25分组交换接口,提高与公用数据网及分组交换网并网能力。

4) 具有话音邮递和电子邮箱等功能。

5) 办公室自动化中的程控用户交换机需要更高的可靠性,否则影响将是十分严重的,为此必要的冗余度是重要的。

SOPHO协作开放式办公自动化系统便是此类型产品的杰出代表,具备先进完善的办公自动化功能。

#### (5) 专网型

具有组网汇接功能的程控用户交换机应具有多位号码存储、转发能力,直达优先路由选择,自动迂回,外线呼叫等级限制,等位拨号,功能透明,远端集中维护管理及话务台集中设置等功能。对专网型程控交换机应着重考虑其中继接口、信令方式与传输系统的配合能力。还可能要求具有汇接长途甚至与农话业务配合功能。

随着技术的不断进步以及各单位业务增长的需要,还会出现更加新颖的机型。

## 3 电话系统设计

### 3.1 线路容量的设计

首先,要做好建筑的通信业务的预测工作。由于各种建筑的使用功能不同,对于通信业务的要求也有比较大的区别,所以在设计线路时,需要考虑的因素也有所不同,电话分布的密度也有较大的差别。

#### (1) 交换机容量的设计

首先确定内线数量,然后再由此确定中继线数(局线数)等的分配。内线数的计算方法有多种,常见的有:

- 1) 按照所用电话数计算。
- 2) 按照建筑物面积计算。
- 3) 按照人员数计算。

#### (2) 确定电话容量

首先需要进行用户分布需求调研。目前,我国对于住宅楼要求每户至少应设一对电话线,对于办公楼和业务楼,可按照每15~20m<sup>2</sup>房间设两对电话线,每开间按照2~4对



线,或者按照用户需求设置。在了解用户数量后,就可以计算电缆容量。

表 11.2-2 是日本对不同行业大楼关于内线数和局线数的估算表,可以供设计时参考。

表 11.2-2 局线数与内线数的估算

	业 种	局 线 数	内 线 数
每 10m <sup>2</sup> 建筑面积	事务所 政府机关 商贸公司 证券公司	0.4	1.5
	广播电视台 新闻报社	0.4	1.3
	银行	0.3	1.0
	医院 百货商店	0.2	0.3
每户	住宅	1	1

关于按照人员数的计算法,日本也提出估算表,见表 11.2-3。

表 11.2-3 每线的工作人员数

业 种	每线的工作人员数	业 种	每线的工作人员数
政府机关	1.9	旅馆	1.9+客房数
公司	1.7~3.5	新闻报社	4.0
事务所	1.7~3.5	百货商店	20

内线数确定以后,再确定局线数(中继线数),局线数的计算也有多种方法,有时按照话务量计算,有时简单按照总容量的 8%~10%比例分配,也可以按照信息产业部门规定确定,见表 11.2-4。

表 11.2-4 中继线数的确定方法

可以和市话局互相 呼叫的分机数(线)	接口中继线配发数目(话路)	
	呼出至端局中继	端局来话呼入中继
50 线以内	采用双向中继 1~5 条	
50	3	4
100	6	7
200	10	11
300	13	14
400	15	16
500	18	19

当容量小于 500 线的用户交换机接入公用网时,一般可不进行中继线的计算,直接依据国家邮电部的《用户交换机管理办法》规定,按照表 11.2-4 申请相应的中继线数(允许超过)。

在确定交换机的容量时,应该考虑满足将来终期的容量需要,并有备品备件。表 11.2-5 是根据目前我国国民经济状况和一些城市高层建筑的实用数据,可作为进行通信业务预测的参考标准。

对于商用大楼,包括贸易大厦、旅馆(酒店)以及那些以办公或旅馆为主兼设有商店、餐厅等设施的综合性大楼建筑,交换机的初装容量和终装容量计算如下

$$\begin{aligned} \text{初装容量} &= 1.3 \times [\text{目前所需门数} + \\ &\quad 3 \sim 5 \text{ 年内的近期增容数}] \quad (11.2-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{终装容量} &= 1.2 \times [\text{目前所需门数} + \\ &\quad 10 \sim 20 \text{ 年后的远期} \\ &\quad \text{发展总增容数}] \quad (11.2-2) \end{aligned}$$

表 11.2-5 预测通信业务发展的参考标准

通信业务预测 发展分期	建筑分类	机关、办公 用高层建筑	饭店、宾馆 高层建筑	财经商业 服务大楼
近期(5 年左右)		每自然间 1.1 个电话(也可按各单位连接 5 年内电话需要量后再估算)。对于银行、办公性质的楼层应根据实际需要分布估算	高级宾馆应考虑用户电报、数据终端、电话等多种业务。目前可按照每套客房 1.2~2.0 的系数考虑。其他办公用电话根据需要估算	按照办公用户和商业厅分别估算:①办公用户同办公楼;②营业厅每个专业售货柜台有一个电话,其面积为 20m <sup>2</sup> 左右
远期(15~20 年)		每自然间 2.0 个电话(也可按各单位连接 20 年内电话需要量进行估算)。对银行、办公性质的楼层应根据需要分布估算	需求同上,可按照每套客房 2.0~3.0 的系数考虑,其他办公用电话根据需要估算	要求同时,并应适当增加数量

至于中继线数量也可按照总机容量的 8%~10%考虑确定。交换机的实际分机限额约为交换机容量的 80%。

3.2 程控用户交换机的选择

程控电话交换机在通信网中,起着沟通网络、交换信息的中枢作用。所以该设备的选择,对整个网络建设和实现的效率具有重要的意义。对设备的选择要充分考虑到用户在实际使用过程中的具体情况。当前,我国广泛采用程控用户交换机,按照信息产业部的规定,将程控交换机的容量分为三类:小容量,250 门以下;中容量,250~1000 门;大容量,1000 门以上。

程控用户交换机一般在 2000 门以下为宜。

程控用户交换机的选型应符合多种因素,并加以技术经济论证。对于总的选型原则,应满足以下几点:①应符合信息产业部《程控用户交换机接入市话网技术要求的暂行规定》和国家标准《专用电话网进入公用电话网的进网条件》;②应选用符合国家相关技术标准的定型产品,并执行有关通信设备国产化政策;③同一城市或本地网采用相同型号和国家推荐的某些型号的程控交换机,以简化接口,便于维护和管理;④程控交换机应满足近期容量和功能的需要,还应考虑远期发展和逐步发展综合业务数字网(ISDN)的需要;⑤程控交换机宜选用程控数字交换机,以数字链路进行传输,减少接口设备。数字接口参数应符合国家标准《数字网系列比特率电接口特性》(GB/T 7611—2001)。

在程控交换机具体选型时,可以着重考虑以下几点:

(1) 实用性

系统的设计在运行环境、使用操作等方面以实用为主,以方便用户使用和维护为出发点。同时,系统在产品的选择上,要求采用国际广泛采纳的、主流的、支持开放标准的主机设备、网络接口。

(2) 先进性

系统采用主流的处理器、网络、数据库技术和产品,从而保证系统技术的先进性。在具体产品的选择上,在注意实用可靠的基础上,尽量选择先进的解决方案,提高系统的生存周期。

#### (3) 扩展性

系统的软硬件建议采用模块化设计,从而可以根据实际情况对系统硬件和软件进行灵活的配置和组合,能够方便地升级和更新,以适应业务的不断发展和更新。

#### (4) 规范性

交换机系统和增值业务的所有业务均要符合相关的国际标准和信息产业部的标准。

#### (5) 安全可靠

系统建议采用当前主流的群机处理的多级分散控制系统。安全可靠是系统的生命所在,应充分考虑系统的安全策略和安全机制,可以根据不同的业务需求,设立不同的安全措施。系统的模块化结构能够保证系统某些部分发生故障时不会影响整个系统的正常运行。

### 4 IP 电话

IP 电话,是将语音信号压缩成数据资料封包后,在 IP 网络基础上传送的语音服务,也就是说,透过开放性的网际网络传送语音的电信应用服务系统;利用 Internet 提供实时语音服务,而不再是使用传统的公众电话网络(PSTN),进行远距离电话网络交谈。IP 电话最突出的特点是显著降低了网络运营成本。因为企业的通话是在网上进行的,不占用电信服务商的资源,唯一需要支付的就是网络通信费用,因而降低了话费支出,特别是对于那些分支多,地域分散的企业,可以节省大笔的长途通信费用。

#### 4.1 IP 电话的分类

目前 IP 电话从形式上可分为以下四种类型,如图 11.2-3 所示。

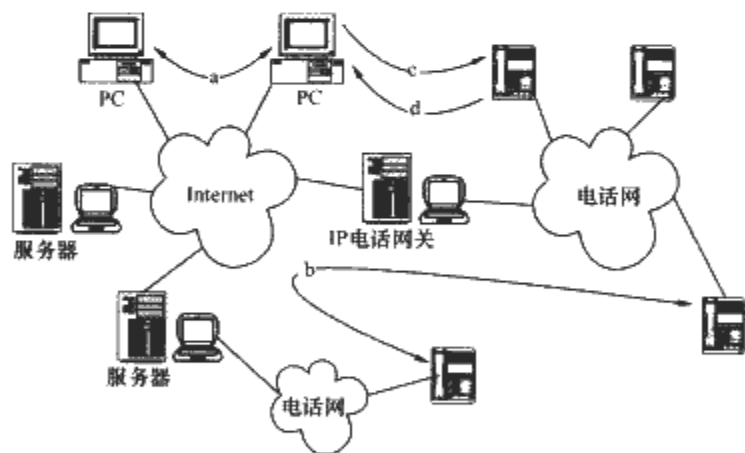


图 11.2-3 IP 电话的四种类型

1) PC 到 PC。如图 11.2-3 中 a 所示,就是最早的 IP 电话。

2) 电话到电话。如图 11.2-3 中 b 所示,传统电话经 Internet 中继后就能降低通话费用,特别对长途电话费用降低更多。

3) PC 到电话。如图 11.2-3 中 c 所示,它与 PC 到 PC 使用的技术比较相近,通话时一方通过 PC 连上 Internet,利用 PC 上的多媒体配件和 IP 电话软件从 Internet 网上拨打普通电话的号码,语音分组经过 Internet 传输后到达 IP 电话网关,由网关将语音分组转换成语音信号再经过电话网传输到达被叫方(普通电话机)。

4) 电话到 PC。如图 11.2-3 中 d 所示,这种通话方式相对于前三种方式用途要小一些,也较复杂,因为 PC 的识别要依靠 IP 地址,在普通电话机上很难拨打。

#### 4.2 IP 电话的特点

IP 电话的迅速发展是由 IP 电话的特点决定的。

1) IP 电话是依托 Internet 基础上产生的,在 Internet 上开通电话(PC 到 PC),由于不需要收取长途电话费用,其费用相当便宜,为广大使用者提供了一种可选的廉价的长途电话通信手段,尤其在长途业务中。

2) IP 电话采用分组交换技术,对中继电路采用统计复用,可以大大提供线路的利用率。

3) 采用语音压缩技术。

4) 可以支持多种业务形式,有传统的(IP)电话业务、Web 电话、来电显示及呼叫等待、800 被叫付费业务、Internet 上的语音信箱、E-mail 指示等业务。

5) 将来可以融多媒体业务于一体,语音、图像、数据三合一。

#### 4.3 IP 电话的基本原理

IP 电话系统主要由终端、网关、关守和相应的支持系统等组成,如图 11.2-4 所示。

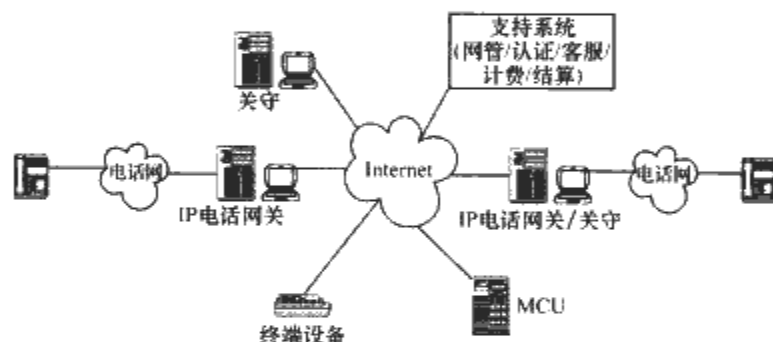


图 11.2-4 IP 电话系统的组成

##### (1) 终端

IP 电话的终端可以有多种形式,其中包括传统的语音电话、ISDN 终端、PC,也可以是集语音、数据和图像于一体的多媒体业务终端。终端应提供音频、视频和数据通信能力,其中音频是必需的。H. 323 协议规定语音编码采用 G. 711 协议(64kbit/s),以及更低速率的数字语音协议,如 G. 728 协议(16kbit/s),G. 723 协议(5.3 或 6.4kbit/s)以及 G. 729 协议(8kbit/s);视频编码采用 H. 261 或 H. 263 协议;连接与控制采用 Q. 931 和 H. 245 协议等。

##### (2) 网关

网关是 Internet 网络和其他网络(如 PSTN、ISDN)之间的接口设备。网关根据不同厂商而有所不同,当时组成的模块是一致的,包括数据处理主机、语音模块、数据处理模块、数据接续模块、管理模块等。网关完成分组交换与电路交换(或其他通信规范)之间的协议转换,支持多种电话线路,包括模拟电话线、数字中继线和 PBX 连接线路;完成语音压缩,将 64kbit/s 的语音信号压缩成低码率的语音信号;完成寻址、信令转换与呼叫控制;具有 IP 网络接口以及电话网(PSTN)或 ISDN 的互联接口。

##### (3) 关守

关守是网关的管理者,控制网关完成呼叫接续过程。关守的功能是完成用户信息和网关信息的收集与管理、网关路由策略的构造与实施、网关状态管理等内容的区域管理;收集并向计费中心传递用户计费信息;与认证中心配合进行用

户身份认证及授权控制；在总体上进行服务质量控制。

#### （4）支持系统

支持系统主要包括认证中心、计费中心、网络管理中心和业务管理中心。认证中心负责存储用户的基本数据，完成用户的身份认证及授权；计费中心负责计费信息的收集和处理并最终产生话费清单；网络管理中心负责网络设备的监控及故障处理；业务管理中心负责业务管理。

#### （5）多点控制中心

在 H.323 协议中还提供多点控制单元（MCU）以支持三点或更多点的通话。一个 MCU 由一个多点控制器（MC）和多个多点处理器（MP）构成。MC 处理提供多点会议的控制功能，用以决定公共的音频和视频处理能力。MP 接收各端点送来的音频、视频和数据流，对它们进行处理后转发到其他端点。

## 第3章 会议系统

### 1 技术概况

会议系统是一种集音响、通信、自动控制、多媒体、计算机等技术于一体的会务自动化管理系统。系统将会议签到、发言、同声传译、表决、摄像、扩声、显示、录音录像等各自独立的子系统有机地连接成一体,通过会议系统主机及计算机控制管理软件,根据会议议程协调各子系统工作。如今,会议系统已被广泛应用于各种行政及商务会议、论坛讲座、酒店会议中心、政府机构、企事业单位、工矿和学校等的会议厅/堂。

#### 1.1 会议系统的发展

会议系统的主要技术除基本的传声器拾音、混音与桌面型扩声技术外,还包括音频传输技术、数字控制技术、计算机管理技术、高保真可靠性技术以及相应的控制管理软件等。

早期的会议系统采用模拟方式进行音频传输,控制技术相对简单,虽然也能够实现大部分的会议系统使用功能要求,但由于其音频传输使用的是模拟方式,普遍存在以下几个方面问题:

- 1) 长距离传输(超过50m)时,信噪比、通道分离度和频率响应特性等会受此影响而变坏,音质继而变差。
- 2) 大型会议系统中因接地问题产生的干扰较大(例如:照明设备、工业电气设备、通信设备和广播电视等)。
- 3) 用多通道同声传译系统时,每种语言需要一对独立的传输线路,多语种传输时的传输线路复杂,连接点故障多,影响可靠性。

进入21世纪后,随着数字技术的飞速发展和人们对会议系统音质要求的不断提高,会议系统也全面进入了数字化时代,全数字会议系统应运而生。全数字会议系统的核心技术是多通道数字音频传输技术,它采用“模/数”转化技术,直接将拾取到的发言人的语音转换成数字信号,然后将数字信号编码后在线缆上进行传输,并根据传输线缆的带宽条件采用相应的复用技术以实现在一根线缆上同时传输多路音频信号。

全数字会议系统从根本上解决了早期会议系统存在的接地干扰、设备噪声、通道串音、长距离传输等问题,声音保真度极高,接近CD音质。同时一对双绞线或双同轴电缆可传输多路的原声和译音信号,避免采用复杂的多芯电缆,既节省费用,又方便施工布线,还可增强系统的可靠性。此外,作为全数字化平台,全数字会议系统可以方便地实现许多增值应用功能,如独立麦克风输出,可以对每个发言人的声音独立录音,或单独进行修饰;内部通信功能(为主席、与会代表、翻译员和操作员之间提供双向通话功能);短消息功能(系统管理员可以给所有或某个会议单元发送短消息)等。全数字会议系统的计算机控制管理软件功能也非常强大,包含会场设计、话筒管理、表决管理、会议签到、身份识别、人员管理等多个功能模块。全数字会议系统适用于大型会议厅堂和各种对会议音质要求较高的场合,尤其是需

要同声传译的场合。

近年来出现了无线会议讨论系统、无线表决系统等无线会议系统产品。系统无线化可以给工程技术人员的设备安装以及使用人员的使用操作带来很大的便利(例如,由于没有设备连线,某些系统设备就可以不再进行固定安装,因此,使用人员可以根据会议规模,方便地调整系统配置等)。无线会议系统的主要缺点是可靠性和保密性相对较低。此外,目前无线会议系统还需在性能和成本方面加以改善。

随着社会的进步,现代会议系统的网络化是今后会议系统发展的一个趋势。我们知道网络能迅速地将各种信息进行快速传输。在会议系统中,网络化的优势主要体现在以下几方面:

- 1) 可以实现工程技术人员对会议系统的远程集中控制,远程检测、诊断、维护。
- 2) 对具有多个会议厅堂的大型会议中心,可以实现信息和设备共享,可以大大降低系统建设投资。
- 3) 可使会议系统与视频会议系统实现资源共享,可以通过网络观看整个会议过程,甚至参与会议。

#### 1.2 系统构成

根据国际标准 IEC 60914(等效国家标准《会议系统电及音频的性能要求》GB/T 15381—1994)中会议系统的概念,会议系统主要包括会议讨论系统、同声传译系统和会议表决系统。随着技术的发展,扩展的会议系统还包括摄像机自动跟踪系统、自动签到系统(远距离非接触式IC卡签到系统)等。

1) 会议讨论系统,也称桌面型会议扩声系统,用于与会者进行发言、讨论。在会议讨论系统中,传声器(话筒)可以由代表和主席在其座位上方方便地控制,也可以由操作员集中控制;各代表和主席的会议讨论单元通常配置有低声级扬声器以进行分散扩声,也可以使用集中的扩声形式。在会议讨论系统中,可以增加摄像机自动跟踪系统,用于在会议中实时地将发言者图像显示到大屏幕上,和/或用于会议记录(需另配会议音像记录设备)。在某些会议场合,也可以采用传统的会议传声器系统(有落地式、手持式等多种形式)。

2) 会议表决系统,用于对会议议案进行投票表决、选举、调查,或对某事/人进行评估或评价。在进行电子表决之前,需要先进行电子签到。电子签到有多种方式:

- ① 按键签到:利用表决器上的签到按键进行签到。
- ② 接触式IC卡签到:利用表决器上的IC卡读卡器进行签到。
- ③ 远距离非接触式IC卡签到:与会代表佩戴内置有非接触式IC卡的代表证在通过签到门时便可自动签到。

3) 同声传译系统,经常需要将一种语言同时翻译成两种及以上语言的会议厅、堂,就需要同声传译系统。常用的同声传译系统主要有两种:有线同声传译(通常与会议讨论系统一体化)、红外线同声传译系统。

在智能化的会议室中,与会议系统密切相关的电子系统

还有:

- 1) 会场扩声系统, 外接功放和音箱等设备, 将发言者的声音放大播出。
- 2) 电子显示系统, 用于显示会议信息、表决过程与表决结果、摄像跟踪图像等。
- 3) 中央控制系统, 用于对会场的各种电子设备进行集中控制。
- 4) 视频会议系统, 用于实现远距离的视音频的同步交互, 又称会议电视系统、远程会议系统等。
- 5) 其他用于提供音视频信号的多媒体周边设备。

通常把包括了会议系统和会场扩声系统、电子显示系统、中央控制系统、视频会议系统, 以及其他多媒体周边设备的现代会议系统解决方案称为多媒体会议系统(其基本结构形式见图 11.3-1)。在有些多媒体会议系统中, 中央控制系统的作用很突出, 有时也称这样的多媒体会议系统为智能会议系统。

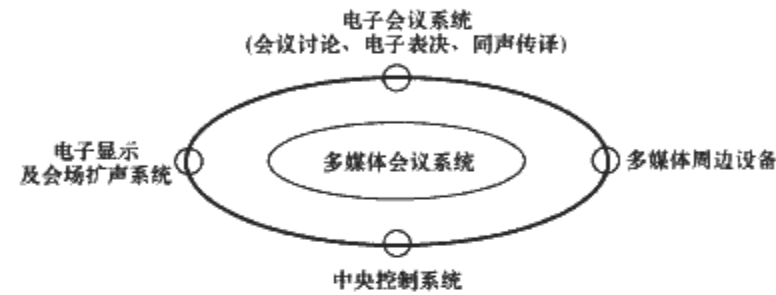


图 11.3-1 多媒体会议系统

2 会议讨论系统

2.1 工作原理

会议讨论系统是一个可供与会代表分散自动或者集中手动控制传声器的单通路声系统, 又称“手拉手”会议系统、桌面型会议扩声系统等, 其原理如图 11.3-2 所示。

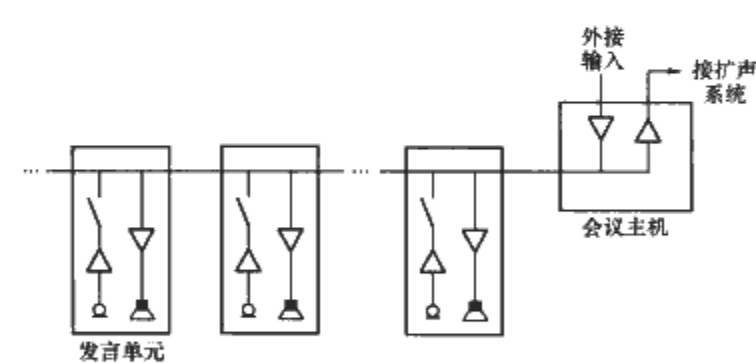


图 11.3-2 会议讨论系统原理

在这个系统中, 每个参加讨论的代表都配备一个代表机, 代表机包括一个发言传声器和一个收听扬声器(或收听耳机)和相关的控制按键。会议的主席配有一个主席机, 主席机除拥有代表机的全部功能外还拥有优先发言权和批准、否决代表发言的权力。各代表机和主席机采用“手拉手”的连接方式, 最后连接到会议主机。会议主机配有输出接口, 可接扩声系统设备和设备录音。

这种会议讨论系统的特点是与会代表都听同样的声音, 音量可调。不管房间的建声条件如何, 各位代表都能听到自己面前代表机上的扬声器所发出的直达声, 因此声音清晰。当使用代表机的传声器发言的时候, 该代表机的扬声器会自动关闭, 不会引起“啸叫”现象。其结构原理如图 11.3-3 所示。

由于这种会议讨论系统安装方便, 且便于调试, 配合其

他选购设备方便实现扩声、摄像自动跟踪等功能。因此, 在各类会议场合一直占据主导地位。

2.2 主要功能

在会议讨论系统中, 当系统进入发言状态, 代表单元可通过自己代表机上的按键开始或结束发言, 与之对应的指示灯点亮或熄灭。主席单元除能发言外, 还具有优先功能, 当按下主席单元上的优先按钮时, 就可关闭或静音正在使用中的代表单元话筒, 从而实现使用主席单元的人对会场的控制。通过会议系统主机的设置, 可实现会议讨论、限位发言、发言申请、排队申请、声控等多种模式。另外, 会议主机还可以设置成演讲模式, 即在演讲台上的话简单元处于常开工作状态, 不会因为演讲者误操作而关闭话简单元。

会议讨论系统配合计算机控制管理软件, 在使用时可实现更多功能。配合话筒管理软件, 操作员可以任意设计会议室座位平面布局图和话筒布局图, 还可以控制话筒开关和设置定时发言, 发言时间可根据情况先行设定, 当话筒打开时, 可以在大屏幕上和主席台显示屏上同时显示规定发言时间并进行倒计时, 在时间临结束前指示灯自动闪烁提醒发言者, 也可以在代表机的显示屏上提示发言时间。在申请发言模式时, 主席台显示器上可显示申请发言人姓名或代表单元编号, 执行主席或会议操纵员可以在控制台控制其话筒, 并可以在大屏幕上实时显示发言人员的名单及其相关信息。通过系统软件, 可以设置每一台代表单元的权限(发言或旁听等), 还可设置 VIP 单元(VIP 单元没有主席单元的会议控制功能, 但可以自由开启话筒)。

会议单元可以配备 LCD 显示屏。LCD 显示屏上可以直接在线显示发言人数、申请发言人数以及签到信息等, 还可以通过管理软件对所有单元或者某个单元发送短信, 以及实现主席、代表、会场操作人员以及同声传译翻译员之间相互的内部通话。

会议讨论系统还可以配合摄像机自动跟踪系统一起使用, 实现视像跟踪功能: 当发言者开启话筒时, 摄像机自动跟踪发言者, 并自动对焦放大, 连接视频显示设备可将摄像机所摄制到的图像显示出来, 视像跟踪的图像也可以用于会议记录。先进的摄像机自动跟踪系统还有画面静止功能、视频切换无闪烁功能、OSD 功能等, 录像效果更完美。

摄像机自动跟踪系统由视频切换矩阵和高速云台摄像机组成, 专为视像跟踪功能而设计的视频切换矩阵一方面内置与会议系统控制主机连接控制的通信协议, 同时也内置高速云台摄像机的控制协议, 可以方便地实现视像跟踪功能。

会议讨论系统的视像跟踪功能的基本结构模式如图 11.3-4 所示。

2.3 系统主要性能指标(组合链路)

系统主要性能指标(组合链路)见表 11.3-1。

表 11.3-1 系统主要性能指标		
项 目	基本要求	高端要求
频率响应 (-3dB)	125Hz~12.5kHz	80Hz~16kHz
A 计权信噪比 (dBA)	≥50	≥90
总谐波失真 (%)	≤2	≤0.5
通道串音 (dB)	≥60	≥80
麦克风方向性 0/180	≥12dB (1kHz)	≥20dB (1kHz)

注 基本要求指标来源为国际标准 IEC 60914 (等效国家标准 GB/T 15381—1994《会议系统电及音频的性能要求》)。

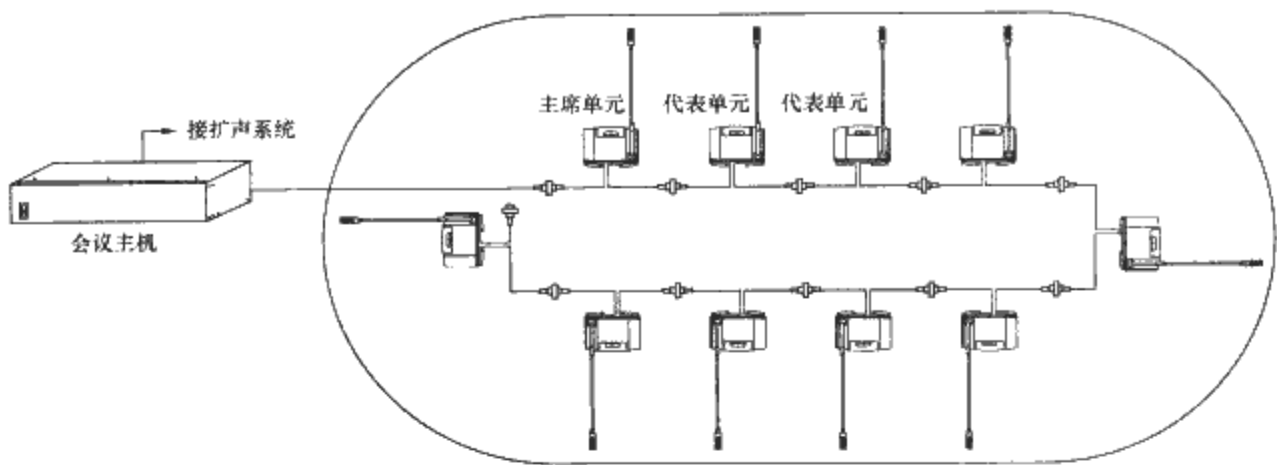


图 11.3-3 会议讨论系统的基本架构

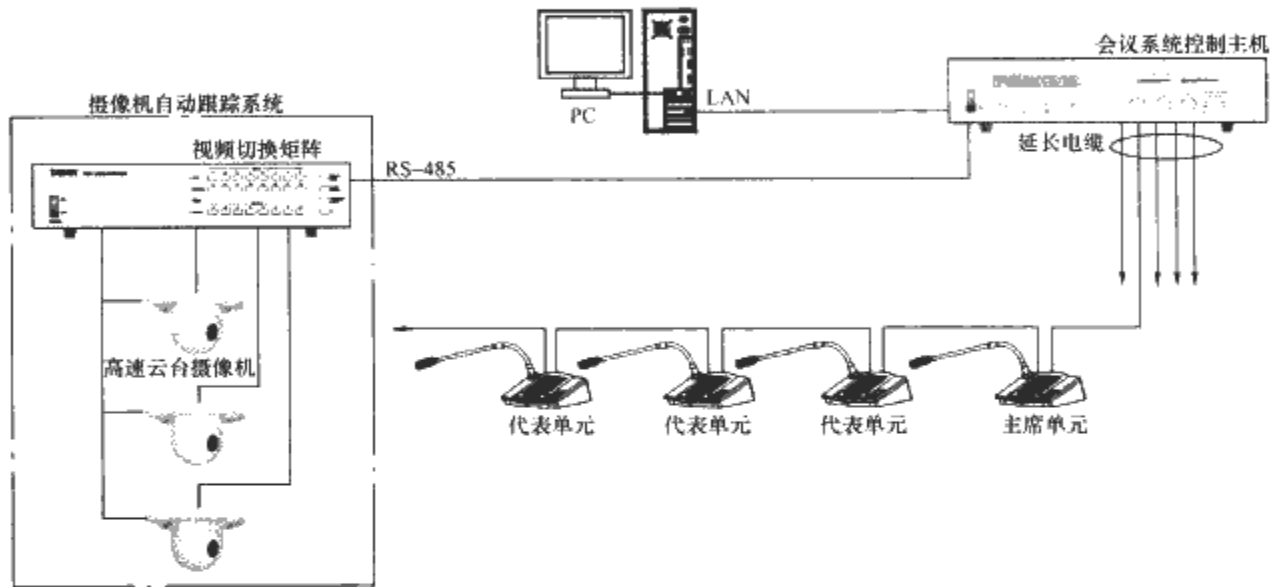


图 11.3-4 会议讨论系统的视像跟踪功能

3 会议表决系统

3.1 工作原理

会议表决系统是一个与表决单元网络连接的中央控制数据处理系统，每个表决单元至少设有 3 种可能的选择：赞成、弃权、反对，中央控制台收集表决单元的按键信息进行统计、处理，其原理如图 11.3-5 所示。

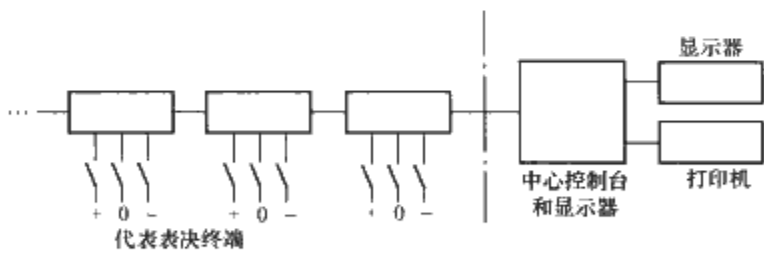


图 11.3-5 会议表决系统原理

图 11.3-6 是一般会议表决系统的示意图。一套会议表决系统一般包括主席表决单元、代表表决单元、表决主机、安装有表决控制软件的电脑，以及显示表决结果用的显示屏。每套表决单元包含“赞成、弃权、反对、签到”等按键和代表身份识别的装置。表决的进程可以由主席控制，也可以由操作员通过电脑软件控制。各个表决单元表决的信息通过传输网络传输给表决主机或控制电脑进行统计处理。表决的状态和结果通过大屏幕同步显示，还可以传输到具有显示功能的表决单元上显示。

目前市面上表决系统有两种传输网络，一种表决主机与表决单元间采用 RS485 总线连接，表决主机和电脑之间采用 RS232 连接。这种连接方式的表决系统具有成本低廉的

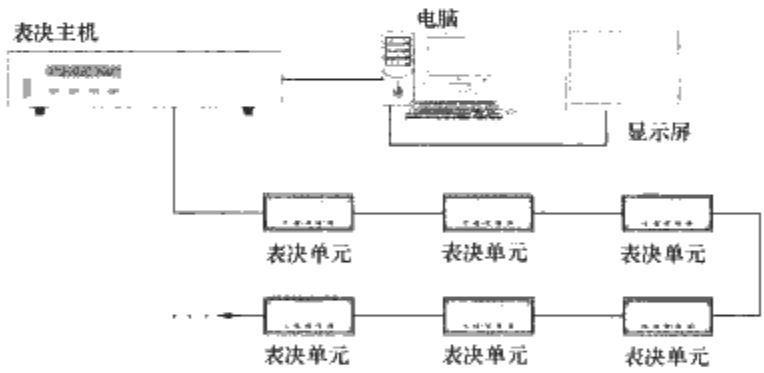


图 11.3-6 会议表决系统的架构

优势，但其缺点是传输速度慢，统计表决结果的时间较长，适用于表决单元较少的小型表决系统。另外一种表决系统表决主机和表决代表单元间采用 100M 的以太网作为传输网络，表决主机与电脑之间也采用以太网连接，这种传输方式的表决系统传输速度快，统计结果的时间短，几乎是实时的，特别适用于大型表决系统（例如 500 席以上）。

近年来，市场上出了无线表决系统，这种表决系统传输网络采用无线方式。相对于有线表决系统，它们具有安装方便，表决人员可无限制走动等优势。但无线表决系统的可靠性、保密性不如有线表决系统，另外传输速度也比较慢，在系统规模上也受到限制，只适用于中小型的表决系统。

3.2 主要功能

现在的表决系统一般都配合电脑应用软件一起使用，一般具有以下主要功能：

会议操作员可以在会前按要求建立、存储、删除或增加议案文件，可以将制作好的议案清单打印出来，分发给与会代表作为会议资料，还可以将表决结果打印和保存。



(1) 在表决方式上, 具有的表决功能

1) 表决方式: 赞成/弃权/反对。

2) 选举方式/调查方式: 可从多位候选人中选择 1 位或/和几位。

3) 响应方式/评议方式: 对某件事进行评估或对某人进行评价的方式。

还可以设置多种表决控制方式: 主席控制方式、操作员控制方式、预设表决时间控制方式; 多种计算方式: 按应参加人数计算、按实际出席人数计算; 多种投票记名方式: 记名投票、不记名投票; 多种计票方式: 第一次按键有效、最后一次按键有效。

在投票表决前可设置表决通过率, 1%~100%; 可将表决结果显示到带有 LCD 显示屏的代表单元上, 表决结果还可以以多种显示方式 (以直方图/圆饼图/数字文本等) 显示在会场的大屏幕上。

投票表决前与会代表需先签到, 因为会议签到的执行意味着该代表的表决结果是否有效 (有签到的代表单元的表决结果才会被电脑统计出来)。

(2) 签到方式

1) 按键签到。与会代表按下具有表决功能的会议单元上的签到键进行签到, 是最简单的签到方式。

2) 接触式 IC 卡签到。与会代表在入场就座后将 (接触式) IC 卡插入会议单元内置的 IC 卡读卡器, 即可进行接触式的 IC 卡签到。使用 IC 卡签到可以对与会人员信息、代表权限、会议出席/签到等情况进行管理。

3) 远距离非接触式 IC 卡签到。与会代表佩带内置有非接触式 IC 卡的代表证通过签到门便可自动签到, 又称自动签到系统、会议门禁签到系统。

在大型的表决系统中, 一般配合远距离非接触式 IC 卡签到系统 (自动签到系统) 一起使用。远距离非接触式 IC 卡签到系统由远距离会议签到机监测天线 (签到门)、签到主机、签到门控制电脑, 及签到人员信息显示屏组成 (见图 11.3-7)。远距离非接触式 IC 卡读卡器的感应距离可达 1.2m, 将远距离会议签到机监测天线 (签到门) 置于会场入口处, 佩戴 IC 卡的代表只需正常走过签到门就能完成签到。签到机配置 LCD 显示屏, 可以显示报到人员的信息, 如头像、姓名、职务、座位等信息。

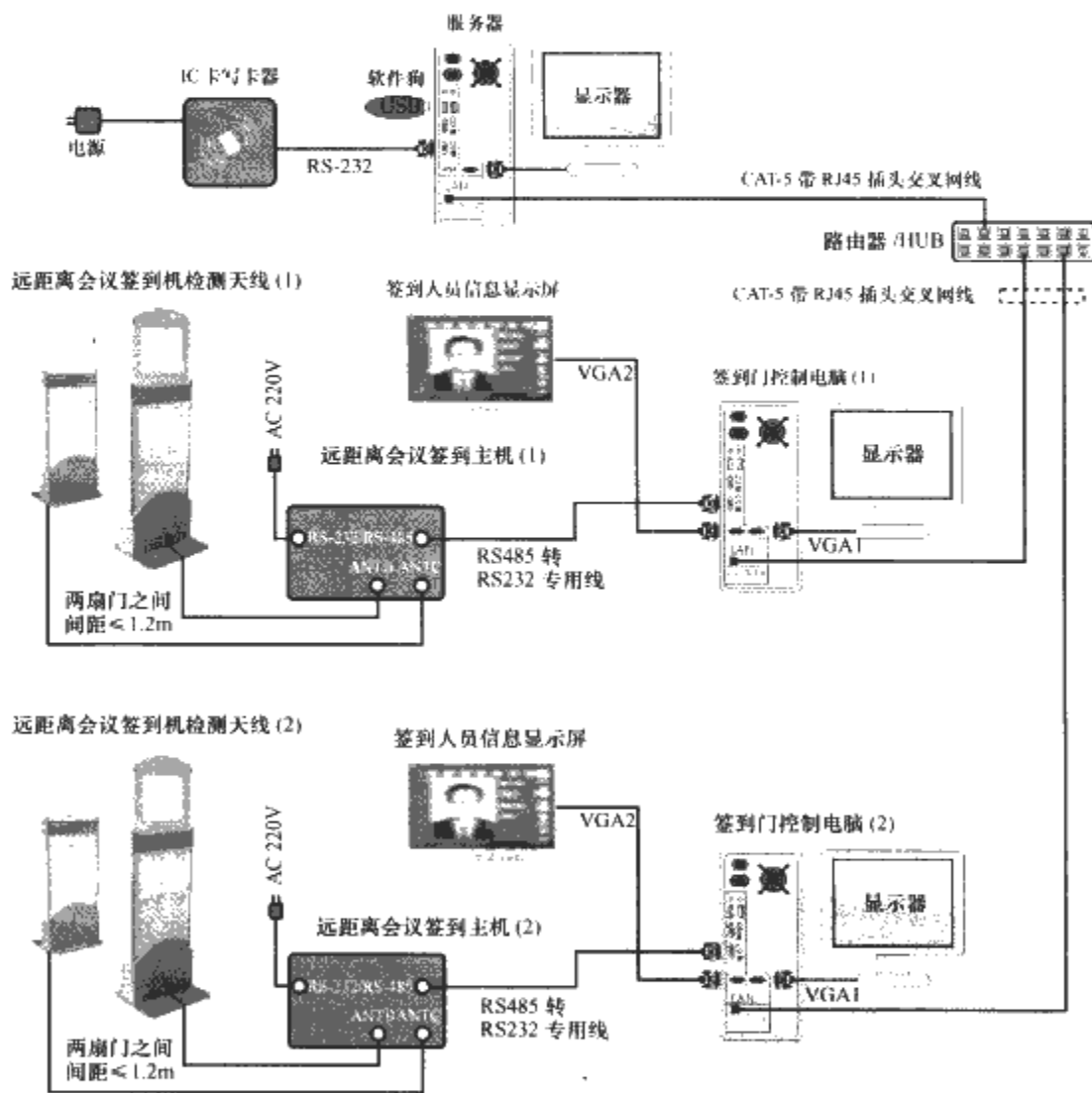


图 11.3-7 自动签到系统连接示意图

配合自动签到系统, 会议的组织者可以非常方便地实时统计出席大会的人员情况, 包括应到会议人数、实到人数, 以及与会代表的座位位置。系统能根据用户要求, 设置签到开始/结束时间及具有进行手动补签到的功能; 系统可以自动生成各种报表, 还可以生成多种符合大会要求的报到状态显示图。

(3) 报到状态

1) 会议代表席位分布图, 根据代表报到情况实时改变席位颜色。

2) 会议已报到人数, 动态更新。

3) 会议应到、出席和缺席人数, 可动态更新, 可根据需要由显示系统切换显示。

代表、委员签到时, 自动开启该代表的、委员席位的表决器, 未签到的代表、委员其席位的表决器不能使用。

专为重要会议 (如各省市的人大、政协两会, 党代会等) 设计的大型会议表决系统还应采用高可靠冗余设计, 可以实现系统主机双机热备份及计算机控制管理软件双机热备份, 即在一套系统正常工作的时候, 准备另外一套工作在从

模式的系统, 监控主系统的工作, 一旦主系统出现“死机”等故障时, 从系统自动接替主系统的工作, 不影响会议的正常进行。同时在操作软件上采用多种操作失误防止和纠错措施, 以提高表决系统的可靠性。

#### 4 同声传译系统

同声传译, 顾名思义, 是指基本同步的语言翻译。在国际会议和国际学术交流活动中, 常常有多个国家不同语言的代表参加, 需要在发言人发言的同时, 由一个或多个翻译人员把发言人的语言翻译成多种语言供与会代表选用。在此过程中, 需要利用同声传译系统进行语音的翻译、传输、交换和分配。

##### 4.1 工作原理

同声传译系统是由会议讨论系统/传声器系统、译员单元(翻译台)和语言分配系统组成, 其工作原理为: 翻译员在收听发言人的声音后, 翻译成另外一种语言, 通过传声器和传输网络传送到与会代表的收听装置里, 与会代表通过收听装置选择能听懂的语言进行收听, 如图 11.3-8 所示。

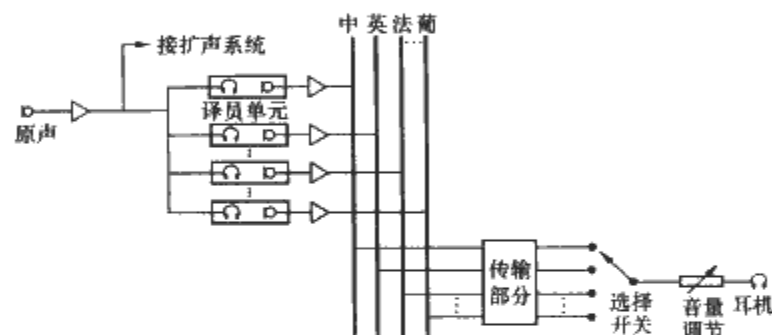


图 11.3-8 同声传译系统原理框图

同声传译系统有直接翻译和间接翻译两种形式。间接翻译是指在翻译员听不懂原声的情况下, 通过收听第一翻译员翻译的语言然后再翻译成另外一种语言, 进行二次或接力翻译。

每个译员室可以安装 1 台或多台译员单元(翻译台), 方便在长时间的会议时几个翻译员可以轮流工作。翻译员可通过头戴式耳麦进行监听和发言, 还可以通过翻译台的内置扬声器收听发言原声, 用可插拔式柔性麦克风进行翻译的语音输入。

译员单元一般具备同一通道互锁功能, 确保通道和语种之间一一对应。还具有间接翻译功能(RELAY), 当翻译人员听不懂发言者的语言时, 可以通过监听其他翻译员的译音进行间接翻译。另外, 译员单元还具有自动中继功能, 即当

间接翻译时, 被监听译员在两个输出通道之间切换时, 间接翻译人员不需要手动切换监听通道, 自动切换到能听懂的语言。

在译员单元上还会配备 SLOW 按键和消咳按键, 当代表发言速度过快时, 翻译员可以按下请求按键(SLOW)提醒发言者将讲话速度放慢。当翻译人员咳嗽时, 按下消咳键可防止咳嗽声音的传出。译员单元还可以配备带背光高亮显示的 LCD 屏显示当前收听的语种、输入语言的质量(是原声或者一次翻译或者间接翻译), 还可以显示会议进程信息和会议操作员对翻译员的提醒等。

另外, 译员单元具有内部通话功能。在会议过程中发生故障时(例如代表不用传声器就开始发言或其他紧急情况), 翻译员能通过内部通话线路, 小心地通知主席和/或发言者, 和/或操作员。内部通话功能可利用数字音频传输同声传译通道多余的传输通道实现。

译员单元可以直接连上会议讨论系统的干路缆线, 方便地接入现有的系统中。

同声传译系统的语言传输(分配)方式分为有线传输和无线传输方式两种。其中无线传输又有红外线传输、射频传输等形式。由于射频传输受电波传输衰减的影响和易受外界干扰等原因, 音质较差, 此外它的发射范围大, 不便于保密, 因此很少采用。现在应用的最多的还是有线传输和无线红外传输方式。

##### 4.2 有线同声传译系统

有线同声传译系统通过有线传输网络向固定座位的与会代表提供不同语言的声音。有线同声传译的优点是没有外界干扰、声音清晰、保密性强、不存在窃听的危险。特别是现在的全数字会议系统特别适合于同声传译, 由于其数字化的处理, 不需要因为增加传输通道而增加传输用的线材, 一条 6 芯的传输线最多可以传输多达 64 个通道的声音, 通道串音可达 80dB 以上, 长距离传输同样能提供高保真完美音质。因此, 有固定座席或有严格保密要求的场所应首先考虑采用有线同声传译系统。

如果在同一会议场合还有会议讨论系统或会议表决系统, 只需在原会议讨论系统或会议表决系统的代表机上增加同声传译通道选择功能即可, 不需要改变原来的传输网络, 也不需要增加设备, 因而减少了系统的复杂程度和设备数量, 提高了可靠性, 更降低了维护成本。

基本的有线同声传译系统示意如图 11.3-9 所示。

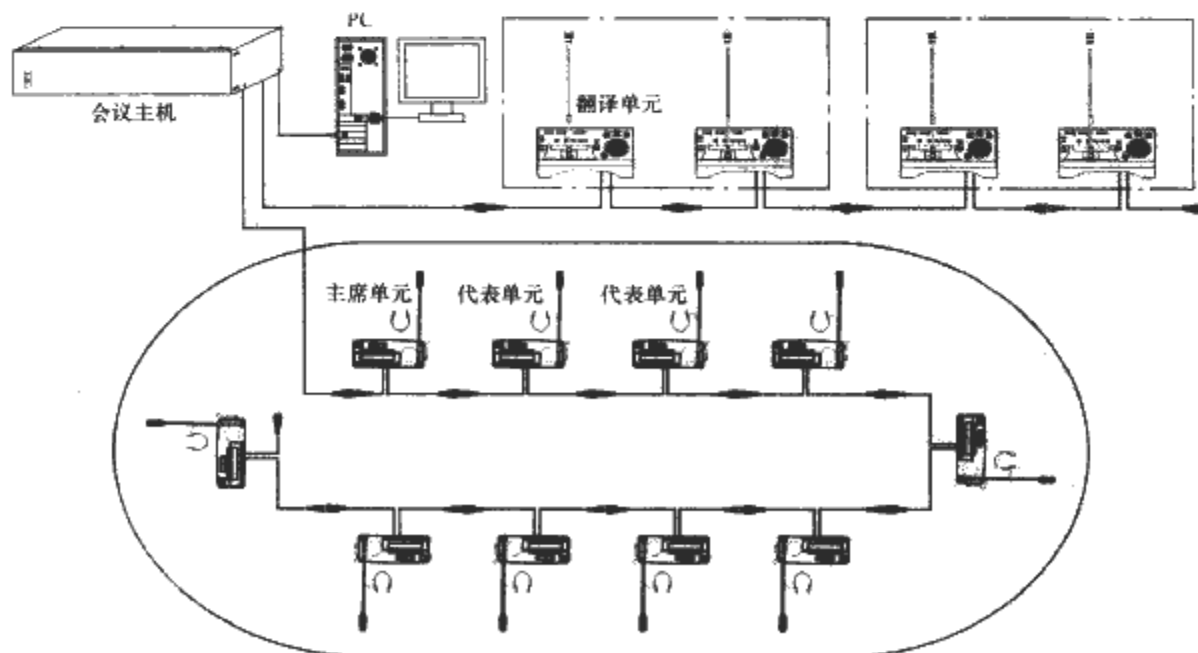


图 11.3-9 有线同声传译系统示意图

除翻译台的功能外,有线同声传译系统的主要功能还包括:

有线同声传译最多可提供 63 种翻译语种和 1 种母语的同声传译,采用全数字的同声传译系统,每个同声传译通道音质都可以和原音一样达到 CD 级音质(频响 80Hz~16kHz,信噪比大于或等于 90dBA)。与会人员可通过代表机上的通道选择器选择语种通道,并用耳机进行收听,耳机的音量大小可通过音量电位器调节。

有线同声传译系统的主要性能指标,见表 11.3-2。

表 11.3-2     有线同声传译系统的性能指标

项 目	基本要求	高端要求
频率响应 (-3dB)	250Hz~6.3kHz	80Hz~16kHz
A 计权信噪比 (dB)	≥50	≥85
总谐波失真 (%)	≤4	≤0.5
通道串音 (dB)	≥50	≥80

注    基本要求指标来源为国际标准 IEC 60914 (等效国家标准《会议系统电及音频的性能要求》GB/T 15381—1994)。

4.3   红外线同声传译系统

由于红外线受电磁频率的干扰较少,可携带传播信息量大,又不能穿透如墙壁、窗帘等不透明结构(不但增加了保密性,又能使相邻的会议厅之间不会发生干扰)等优点,因此现在的无线同声传译大多采用红外线作为传输载体。

红外线同声传译系统工作原理:

将翻译员翻译的各种语言的音频信号通过红外发射主机进行调制(调频),再通过红外辐射板转换成红外信号发射出去,与会代表在一定的范围内通过手持的红外接收机将接收到的音频信号进行解调或重组,然后选择能听懂的语种进行收听。

图 11.3-10 为红外线同声传译系统的基本构架。图 11.3-11 为红外线同声传译系统示意。

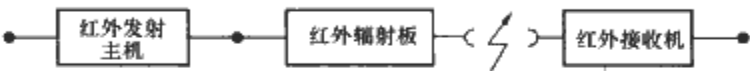


图 11.3-10   红外线传输信号链

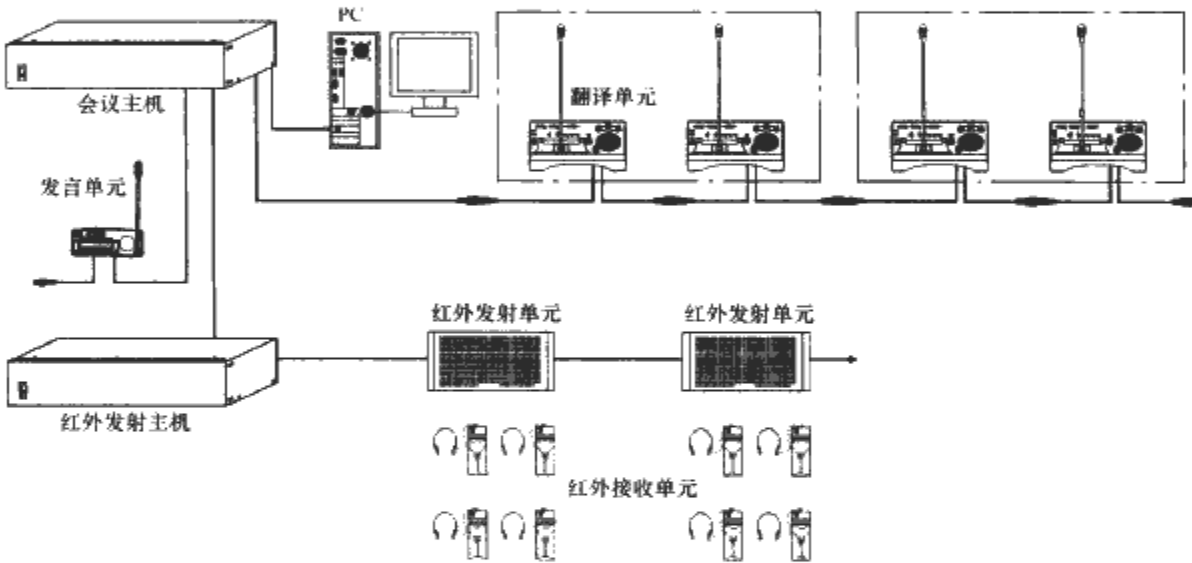


图 11.3-11   红外线同声传译系统示意图

根据传输性能的不同,红外线传输分窄带音频信号传输和宽带音频信号传输两种。窄带音频信号传输使用的调频副载波频率(中心频率)范围在 45kHz~1MHz 之间,通道带宽为 40kHz;而宽带音频信号传输使用的调频副载波频率(中心频率)范围在 2~6MHz 之间,通道带宽为 200kHz。采用宽带音频信号传输的红外线同声传译系统不易受高频驱动光源(如节能灯)的干扰,并具有良好的音频传输性能。

在室内使用红外接收机时,应用窗帘遮挡直射进来的太阳光;在室外或有直射太阳光的环境使用红外接收机时,就需要选择可以在阳光下使用的日光型红外接收机。

红外线同声传译系统的主要功能:

红外发射主机首先要具有多组语音输入通道,以满足同声传译语种数需要;一般还具有输入通道接入指示功能、测试功能(产生多种频率的声音,方便系统调试),以及多路红外信号输出接口(BNC),可连接满足需要数量的辐射板。此外,红外发射主机还应具备紧急广播信号接口。

红外接收机一般具有通道选择器和音量控制器,方便用户选择不同的语种通道和调节合适的收听音量。另外,红外接收机一般还具有通道数显示功能(一般采用液晶屏),可显示当前通道数,还可显示信号强度、电池电量等信息。红外接收机的收听不受会场座位限制,在信号发射范围内可任

意走动。

此外,大中型会议系统应配备红外接收机防丢失监测系统,红外接收机需内置防丢失检测功能。

红外线同声传译系统的主要性能指标,见表 11.3-3。

表 11.3-3     红外线同声传译系统的性能指标

特 性	基本要求	高 端 要 求
耳机频响 (-3dB)	250Hz~3.15kHz	60Hz~6.3kHz
失真 (%)	≤4 (250Hz~3.15kHz 范围内)	≤1 (250Hz~6.3kHz 范围内)
通道串音 (dB)	≥40 (250Hz~3.15kHz 范围内)	≥55 (250Hz~6.3kHz 范围内)
A 计权信噪比 (dBA)	≥40	≥55
电池使用寿命 (h)	≥15	≥60
耳机最大输出 (mW)	≥5	≥5
耳机负载 (Ω)	≥16	≥16

注    基本要求指标来源为国际标准 IEC 60914 (等效国家标准《会议系统电及音频的性能要求》GB/T 15381—1994)。

## 5 中央控制系统

### 5.1 概述

中央控制系统是一种先进的综合控制系统,它将不同厂家、型号、性质的器材或硬件及环境装置连接起来。只需轻按触摸屏或通过电脑操作,就可控制屏幕升降、窗帘开合、灯光调节、开关、投影机、影碟机及其他影音设备,还可通过互联网、电话、手机等实现远程控制。中控系统可广泛应用于智能化会议室、智能控制中心、远程控制、电教室和智能家居等。

现代化的会议场所集合了电脑及多种视音频输入输出设备,操作者需要对每个设备实现控制,还要完成设备间的信号切换,使之在一个或多个演播设备中播出,同时现代化的会议对灯光、电动屏幕及窗帘的配合控制也是必不可少的要求。

针对以上问题,中央控制系统是最佳解决方案,它将多种信号的选择输出及具体设备的操作集中在一个无线触摸屏或计算机控制界面上,操作者通过直观的控制界面操作,将复杂的会议设备操作及环境控制变得轻松自如。

面向智能化会议系统解决方案的中央控制系统首先是一种高端的中央控制系统,具有集中性、智能性、扩展性与适应性,此外,还应能够与会议系统紧密配合,以充分体现智能会议系统的专业化、集成化和智能化。

#### (1) 集中性

通过多种可编程外部终端接口和控制方式,将系统中的所有设备连接起来,利用触摸屏、控制面板或电脑来集中控制。

#### (2) 智能性

繁多的设备、复杂的应用,需要中控系统能够进行简便、快捷、智能地控制。中央控制系统拥有强大的控制逻辑并可进行逻辑组合,利用其可编程特性以及场景功能,可以实现复杂应用的“一键式控制”;此外,中央控制系统还可有更人性化、智能化的控制方式,如触摸屏,红外、声光感应,各种传感器等。

#### (3) 扩展性与适应性

会议场所具有极大的个性。由于应用场所的不同,所用的设备不同,设备的多寡不同,对系统的控制要求也不同,因此中控系统在硬软件上都需要有很强的扩展性和适应性。面向智能化会议系统解决方案的中央控制系统提供开放式的可编程控制平台和控制界面设计软件,以满足不同场所、不同用户的各种需求。

#### (4) 与会议系统的配合

作为面向智能会议系统的中央控制系统,应当能够对会议系统进行便捷而有效的控制。

中央控制系统包括中央控制系统主机、触摸屏、音视频矩阵、电源控制器、灯光控制器、无线收发器、挂墙面板及相应的线路通道等设备。

### 5.2 中央控制系统的功能

典型的中央控制系统提供有多种可编程外部终端接口,开放式的可编程控制平台,强大的控制逻辑,人性化的中文控制界面。面向智能化会议系统解决方案的专业中央控制系统内置有音视频切换器、混音器、音量控制器等,有的还内

置/附带有与会议系统的连接协议或协议转换软件,可与会议系统进行无缝连接,组成全面完整的智能化会议系统。

用户可通过 PC 机控制所有功能,还可配合无线触摸屏控制器,组成功能更加先进的无线中央控制系统。

1) 开放式的可编程控制平台和用户界面,强大的控制逻辑,人性化的中文操作界面。

2) 内嵌式红外遥控学习功能,无需配置专业学习器,简便可靠。

3) 内置会议系统控制协议,可与会议系统进行无缝连接,方便地控制会议系统设备。

4) 内置音量控制器。

5) 内置混音器。

6) 内置音频、VIDEO、VGA 切换器。

7) 多路红外发射口,可实现对 VCR、DVD、CD 唱机,MD 放音机和视频/数据投影机等的遥控。

8) 多路数字 I/O 控制口和多路继电器控制口,用以控制环境装置,诸如投影幕的上下,窗帘的开闭,投影机的高低等,也可用作红外感应、声光感应、烟雾感应等安防信号输入。

9) 多路 RS232 输出端口,可控制视频/数据投影机或等离子显示设备。

10) RS485 控制口,可支持任何连接于 RS485 的控制协议,可连接多达 128 台设备,如控制视像跟踪系统设备等。

11) 内部协议控制接口,用以连接电源控制器、灯光控制器、无线收发器、挂墙面板等设备。

12) 提供可扩展多功能卡槽,用于接插电话扩展卡、RF 接收扩展卡、音量扩展卡等多种扩展卡。

13) 自定义情景存储及存储调用功能。

14) 配合各种尺寸的有线/无线触摸屏,可实现远程控制所有功能。

15) 可通过电脑接口,连接 PC 机对控制主机进行设置及操作。安装了 PC 控制器软件,还可以通过电脑进行控制所有功能。

### 5.3 应用举例

该智能化会议系统由以下 6 部分组成:

1) 会议系统:实现会议讨论、投票表决、即时多语种翻译的同声传译功能及视像跟踪功能。

2) 电子显示及会场扩声系统:包括投影机、PA 功放、音柱等。

3) 用于远程会议的视频会议系统。

4) 多媒体周边设备:各种视频、音频信号的输入输出设备,多媒体电教设备及现场环境的最终实施设备,如 DVD、录像机/视频展示台、MD 录放机/磁带录音机等。

5) 灯光、窗帘、空调等环境设施。

6) 中央控制系统。

由中央控制系统主机、无线触摸屏、无线收发器及扩展设备挂墙开关、电源控制器、灯光控制器等组成,通过一个无线彩色触摸屏,来集中控制会议场所内所有设备,包括系统电源的开关、现场灯光的调节、屏幕的升降、窗帘的开合、各种多媒体设备的操作等等。

以上 6 个部分实现功能各不相同,实际应用中可根据实际需要来选择所要的设备,其系统连接如图 11.3-12 所示。



## 第4章 扩声与公共广播系统

### 1 音响系统基本概念

音响系统是指互联成系统的音响设备和它的声学环境。所谓音响设备是指对正常人耳可闻声音的变换、处理、放大和传输的硬件和软件。最常见的音响单元设备有扬声器、功率放大器、声音处理器、调音台等。音响系统的质量,最终是以音响效果来衡量的,而音响效果又与听音者所处的声学环境有着密切的关系。所谓声学环境就是对声音的听觉有影响的环境因素,它包括所处房间的体型、容积、反射、吸收和噪声等情况。实践证明,同样的音响设备,在它们互联成系统以后,在不同的听音环境有不同的音响效果。例如把一套音响设备调到同样的工作状态,放置在面积和容积不同或内部装修和摆设不同的房间中,其音响效果是很不相同的。这是因为听音环境实际上成了整个音响系统的一个部件,是扬声器的等效负载(声负载)。扬声器放出的声音,受到周围环境的反射、吸收、扩散和谐振等的影响,也即扬声器的负载有了变化,从而使声音发生了不同程度的改变。可见音响设备和其声学环境构成了完整的音响系统。

音响系统既融合了电声学和室内声学的内容,还涉及音乐声学、控制技术和网络技术学科的综合技术。音响系统处理的对象是声音,而声音最终是给人听的,因此,除了着重讨论声音的特性、各单元设备的功能和技术指标、声学环境各个影响声学特性的因素、单元设备的互连、网络音响和系统的设计等技术内容外,还涉及与之关系密切的音乐声学、语言声学以及人对声音的主观因素等内容。

扩声系统是音响系统中最基本的部分。

### 2 扩声系统的基本概念

#### 2.1 扩声系统的作用、特点和组成

扩声系统包括设备和声场。主要设备包括:传声器、音源设备、调音台、信号处理器、功率放大器和扬声器系统。声场是指为扩声系统服务的声学环境。

扩声系统的主要作用是把自然声源(如唱歌、演奏和演讲等)的声音信号转换成电信号,并加以放大、处理、传输,再转换为声信号还原于所服务的声场环境,提高听众区的声压级,使远离声源的听众也能清晰地听到声源发出的声音,如图 11.4-1 所示。扩声系统包括四个主要部分:①音源及其声学环境;②调音台;③功率放大器;④扬声器及其声学环境。

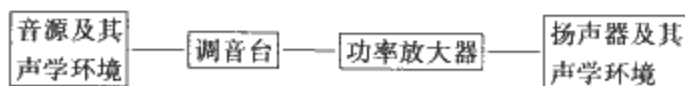


图 11.4-1 扩声系统的基本组成

音源部分包括传声器、录音卡座、激光唱机、数字录音机等节目设备。调音台包括内藏的多路的前置放大、混音、均衡、监听和编组等功能。此外根据实际需要在上述结构中插入压缩/限幅器、听觉激励器、延迟器、房间均衡器和分频器等周边设备。

如上所述,声学环境是音响系统的一部分,对于厅堂扩声系统而言,传声器和扬声器的效果均与所处的声学环境有关,而且扬声器与传声器都处于同一室内空间,因而扩声系统本身就是一个存在声反馈的闭环系统。此时的声学环境既是扬声器的声负载,也是该闭环系统的反馈耦合元件。

#### 2.2 扩声系统的主要声学特性指标

##### (1) 最大声压级

扩声系统的最大声压级是个重要的声学指标,没有达到需要的声压级,扩声系统将失去意义,扩声系统的最大声压级与频率有关,因此,在表示最大声压级时应有频率条件。如表示为:80~8000Hz 范围内平均声压级大于或等于 100dB 等。

##### (2) 传声增益

传声增益  $G$  是指扩声系统达到最高可用增益时,听音区各测点处稳态声压级平均值与扩声系统传声器处声压级的差值。

所谓最高可用增益是指扩声系统中由于扬声器输出的声能的一部分反馈到传声器而引起啸叫(反馈自激)的临界状态增益减去 6dB 的值。

传声增益表征了扩声系统的工作稳定性能。

通常扩声系统的传声增益最高只能做到 -2dB 左右,最低要求 -10dB 左右。

例如:在扩声系统达到最高可用增益时,声音信号在传声器处的声压级为 80dB,在扬声器声场中各点测得的稳态声压级平均值为 75dB,则扩声系统的传声增益为: $G = 75\text{dB} - 80\text{dB} = -5\text{dB}$ 。

扩声系统的传声增益与频率有关,因此,在表示传声增益时,应有频率条件,如表示为:100Hz~10kHz 传声增益为 8dB 等。

在实际使用中,当传声器的数量增加时,系统的传声增益会相应地降低。

##### (3) 声场不均匀度

声场不均匀度是指有扩声时,厅堂内各测点得到的稳态声压级的极大值和极小值的差值,以 dB 表示,一般要求 3~10dB。

声场不均匀度与频率有关,因此,在表示声场不均匀度时,应有频率条件,如表示为:80Hz 声场不均匀度小于或等于 10dB 等。

##### (4) 传输频率特性

传输频率特性是指听音区各测试点处稳态声压的平均值相对扩声系统传声器处声压或扩声设备输入端电压的幅频响应。

扩声系统的传输频率特性与频率有关,因此,在表示传输频率特性时应有频率条件,如表示为:以 80~8000Hz 的平均声压级为 0dB,在此频带内允许范围为  $\pm 4\text{dB}$ ;有时还用频响曲线来表示。

##### (5) 系统总噪声

扩声系统的系统噪声是指当扩声系统工作在最高可用增益状态下,关闭场内所有噪声源并将传声器的输入口短路



时,所测得的总噪声。

噪声是用小于或等于  $NR \times \times$  表示的,  $NR$  (Noise rating) 是噪声评价曲线的意思。一般室内扩声系统要求系统噪声小于或等于  $NR30$ , 在要求高的情况下, 则要求系统噪声小于或等于  $NR25$ 。

### 3 扩声系统设备及其集成技术

这里将介绍主要扩声单元设备的工作原理、技术特性、应用范围以及它们互连组成扩声系统的相关技术。

#### 3.1 扬声器及扬声器系统

扬声器单元是音响设备中最基本而又最常用的部件, 它是应用电声转换原理, 把经过处理放大的电信号转换成声信号, 直接作用于人耳而使人感受到声音的单元音响设备。

扬声器系统就是选用合适的一个或若干个扬声器单元, 用分频器、衰减器把它们组合起来, 并安装在专门设计的箱体中进行放音的装置。为叙述方便, 除特别说明外, 这里所说的扬声器均指扬声器系统。

##### (1) 扬声器的技术特性

扬声器是一个电声换能器, 它的输入是音频的电功率, 输出是声音。其主要技术特性有特性灵敏度、额定功率、频率响应、输入阻抗、指向特性、非线性畸变和瞬态畸变等。现分述如下:

1) 特性灵敏度。特性灵敏度就是在扬声器加上  $1W$  电功率粉红噪声时, 轴向  $1m$  处各频率声压有效值的平均值。扬声器的带宽应限制在扬声器额定频率范围内。当特性灵敏度用  $dB$  表示时, 称为特性灵敏度级, 表示为  $[dB(1m \cdot 1W)]$  其单位为  $dB$ 。所谓粉红噪声是指用正比于频率的频率宽度测量时, 频谱连续且均匀的噪声。

特性灵敏度是反映扬声器电声转换效率的参数, 它的大小直接反映扬声器转换效率的高低。一般扬声器的特性灵敏度在  $80 \sim 110dB$ 。纸盆低音扬声器灵敏度较低, 号角式高音扬声器灵敏度较高, 对应于上述灵敏度的一般扬声器的效率大约在  $0.2\% \sim 25\%$  左右。

特性灵敏度有时也称轴向灵敏度或平均灵敏度。

2) 额定承受功率。在长时间使用不致因过热而损坏的情况下, 允许输入到扬声器的最大低频电功率称额定功率, 或称额定承受功率。在规定的短时间内不因过热而损坏的情况下允许输入到扬声器的最大低频电功率为最大承受功率。有时标为“负载功率(短期)”。一般扬声器能耐受的最大功率约为额定功率的  $1.5 \sim 2$  倍。

但无论如何, 在工程实践上, 额定功率或标称功率是最有实际价值的, 要得到较好的放音音质, 并保证扬声器的安全, 加给扬声器的平均电功率不应超过扬声器的额定功率。扬声器额定功率是扬声器的重要参数, 它和扬声器的特性灵敏度决定了声场可能的最大声压级。

3) 最大输出声压级。最大输出声压级或最大声压级是指在额定承受功率情况下, 轴向  $1m$  处的声压级。可见, 它具有最大功率和灵敏度双重含义。有时一些生产厂商没有给出灵敏度或最大承受功率参数, 却给出最大输出声压级参数。

4) 频率响应。在恒定电压作用下, 扬声器灵敏度随频率的变化称频率响应。它表示对输入信号能以怎样的高低频平衡重放的特性, 即输入信号的频谱变化到什么程度的特性, 是扬声器最重要的特性之一。频率响应特性是用输出声压级-频率的对应曲线表示的, 如图 11.4-2 所示。

由特性曲线可见, 曲线不但表示出扬声器频率响应的最大

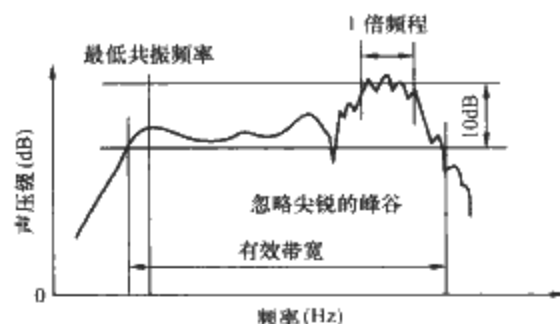


图 11.4-2 扬声器的频率响应特性

偏差, 而且还指出这种偏差发生在什么频率处。在大多数情况下, 实际扬声器的频率响应曲线看上去都是高低不平的, 但是不必为扬声器频率响应上存在的小谷和小峰担心。因为即使是最好的扬声器也存在这种情况。通常对曲线上宽度小于  $1/8$  倍频程的峰或谷可以忽略不计, 因为人耳是听不出来的。当然, 很宽的峰或谷是会听出来的, 例如低频范围内较大的峰在音乐中导致“隆隆声”, 听这种声音很容易疲倦。如果在中频范围内有较宽的谷, 这种扬声器听起来缺少“临场感”。

扬声器的频率响应是扬声器的重要参数, 不同频率响应的扬声器有不同的用途。例如, 有效带宽在  $60Hz \sim 20kHz$  的扬声器可用于整个音频范围, 为全频扬声器, 有效带宽在  $40 \sim 100Hz$  扬声器为超低频扬声器等。

在理想情况下, 扬声器必须具有的有效频率范围应完全覆盖全部乐器的频率范围。因此, 扬声器必须具有  $30 \sim 20\,000Hz$  的有效频率范围, 至少也应有  $50 \sim 16\,000Hz$  的有效频率范围。

5) 阻抗特性。扬声器的阻抗随频率变化的特性称阻抗特性。在阻抗-频率曲线上, 由低频到高频第一个共振峰后的最小值, 称为扬声器的额定阻抗, 它接近于一个纯电阻。

扬声器的阻抗是功率放大器扬声器匹配的主要依据, 一般扬声器的阻抗范围为  $4 \sim 16\Omega$ , 扬声器标称阻抗则规定选择  $4\Omega$ 、 $8\Omega$ 、 $16\Omega$  数值中的一个。

6) 指向特性。扬声器指向特性表示灵敏度和辐射方向的关系。

当用指向性函数表达时, 某一给定频率的指向性函数是: 在与扬声器轴向成某一夹角的方向上给定距离处有效声压与在扬声器轴向上相同距离处的有效声压的比值。显然, 指向性函数是表征扬声器辐射声能随方向的变化函数。把扬声器指向性函数用极坐标表示为“指向性图”, 对于不同的频率, 有不同的指向性曲线。指向性图如图 11.4-3 所示。

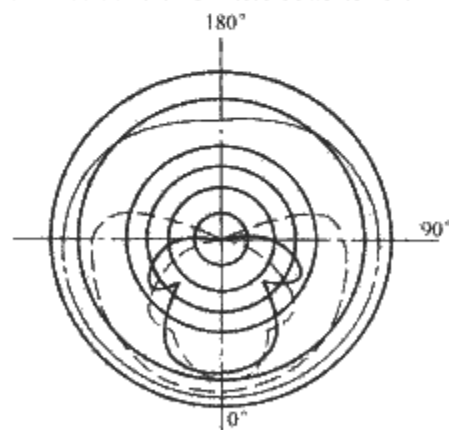


图 11.4-3 扬声器指向性

通常用扬声器的指向性指数  $Q$  来表征扬声器的指向特性。

$$Q = \frac{\text{扬声器主轴上远处某点所辐射的某频率的声压的平方}}{\text{用声功率相同, 频率相同的点声源代替扬声器后在同一点上所产生的声压的平方}}$$

显然,某扬声器的指向性指数  $Q$  是随频率而变化的,频率增高,指向性指数  $Q$  也增大,扬声器的  $Q$  值一般在 1 至几十之间。强指向的号筒扬声器的  $Q$  值可达 40 以上。

7) 谐波失真 THD。扬声器的谐波失真是指扬声器在重放声中增加了原来信号没有的谐波成分的现象。扬声器的谐波失真主要是由扬声器单元中磁隙的磁场不均匀性及支撑系统的非线性形变所引起。频率越低,纸盆振幅越大,因此失真主要产生在低频,尤其在谐振频率处最为明显。

扬声器的总谐波失真  $THD = \frac{\text{扬声器输出总谐波声压有效值}}{\text{扬声器输出总声压有效值}} \%$

由于扬声器单元振动系统存在惯性而引起的失真为瞬态失真。瞬态失真与频率响应有密切关系。有效频率范围越宽,高频特性越好,其瞬态失真也越小。

扬声器总的非线性失真一般在  $10^2$  数量级,由于音响系统中的放大器、调音台、处理器等单元设备的非线性失真可以做到小于  $10^3$  数量级,因此,扬声器的非线性失真基本上就决定了整个音响系统的非线性失真。

在音响设备中,纸盆扬声器主要是作为扬声器系统中的低音单元或超低音单元。此外主要还有号筒扬声器单元等。号筒扬声器多用作高音扬声器。其特点是频率高而频带窄,通常在几百赫至十几千赫,其振动辐射面多做成矩形,利用声波在号角内壁的反射控制其指向性。利用其恒指向特性,能有效提高声场的声压均匀度和语言清晰度等声学指标。号筒扬声器除与其他扬声器一样用额定功率、有效频率范围、最大声压、阻抗等表示其特性指标外,还应表示出其最重要的指向特性,例如:

覆盖角  $(-6\text{dB}) 60^\circ(\text{H}) \times 40^\circ(\text{V})$ , 表示水平  $60^\circ$ , 垂直  $40^\circ$ 。

## (2) 扬声器系统种类及应用

在音响系统中除了在部分的公共广播中的天花扬声器、酒店房间用的床头柜扬声器、配合组合音箱的号角式扬声器和特殊情况下补音用的扬声器采用单元外,其余几乎全是采用扬声器系统的。

组合扬声器通常有两类:一类是音柱,一类是音箱。

1) 音柱。当把多个相同的扬声器单元,按竖直方向排列,并装在专门设计的柱形箱体内,以期获得预期指向性和最大声压级的装置称为音柱。利用相邻扬声器单元的声音干涉原理,使其垂直方向的辐射角变小,水平方向的辐射角基本上保持单个扬声器单元的辐射角不变,于是整个音柱的指向性呈水平宽垂直窄的形状。这样的指向性更适合于一般会议及演出场所对声场的要求。音柱的结构及其指向性如图 11.4-4 所示。

利用音柱的基本原理,即增大输出声压和增强指向性,把扬声器组合成阵列,越来越多地用于大型和超大型室内、外(如大型体育场馆)的扩声系统中。

2) 组合音箱。这里所述的组合音箱是指除了音柱以外的其他组合扬声器系统,通常有全频音箱、低音箱和超低音箱。

①全频音箱。全频音箱有时又称号筒组合音箱,号筒组合音箱的形式多为前向型号筒音箱,其外形如图 11.4-5 所示。前向型号筒音箱能加强低音,它低音重放效果相当于一种大型音响重放系统。它的指向性由号筒所决定。全频音箱重放声音的有效频率范围一般为  $20 \sim 40\text{Hz}$ 。为了提高组合音箱的放音质量,在箱内装置了低音、中音和号筒高音等各频段扬声器单元,利用分频网络把输入的音频信号分成低音段、中音段和高音段分别驱动相应扬声器单元,这样就能

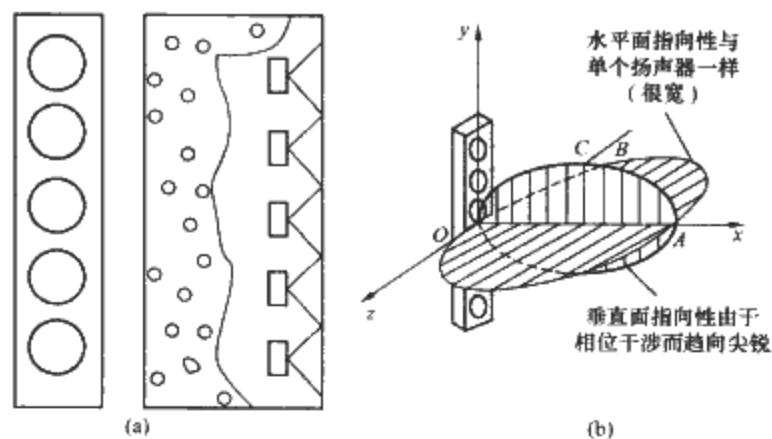


图 11.4-4 音柱的结构及其指向性  
(a) 结构; (b) 指向性

使各频段的专用扬声器单元工作在最佳工作状态,从而可以使组合扬声器实现有效频率范围宽和失真小的目的。同时组合扬声器可以是二分频、三分频和四分频等。

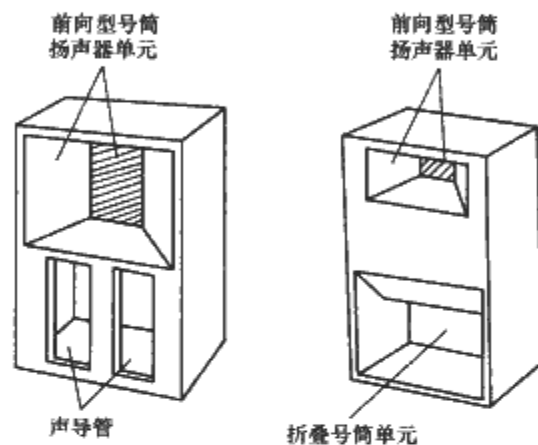


图 11.4-5 前向型号筒音箱的典型外形

组合扬声器箱内的分频网络是由电容器和电感线圈组成的滤波电路,称无源分频器。又由于是从扬声器的驱动音频功率信号中分频的,故又称为功率分频法。

②低音箱和超低音箱。通常是把一个或多个  $15\text{in}$  ( $1\text{in} = 25.4\text{mm}$ ) 或  $18\text{in}$  的大口径扬声器单元安装在较大型的箱体,合适地利用箱体谐振作用可以把整个扬声器系统的频率响应下限频率向低频延伸,由此而做成专用的低音箱和超低音箱。新型的低音和超低音箱除了有效频率范围较窄,频点很低之外,通常其箱体和功率均很大。还由于利用了反射板和喇叭口的作用,其辐射的低频还有一定的指向性。

低音和超低音箱主要是在较大型和大型的音响系统中配合全频音箱和号筒高音扬声器作全频带的声音重放。典型全频音箱的结构及其频响曲线如图 11.4-6 所示。

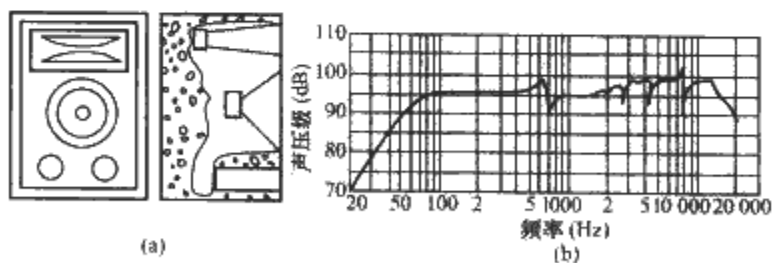


图 11.4-6 全频音箱的结构与频响曲线  
(a) 结构图; (b) 频响曲线

③有源音箱。有源音箱是指把功率放大器和扬声器单元一同安装在音箱的箱体内,即所谓实现有源一体化的音箱。有些产品还把压缩限幅器、频率均衡器和相位校正器等处理器与功率放大器一起安装在箱体内。

有源一体化的音箱有很多优点。首先,它的功放与扬声

器单元的功率匹配处理器（压缩限幅器、频率均衡器以及相位校正器）的调节、灵敏度匹配、分频点的选择等都由生产厂家调校到最佳状态。

加之，功率放大器与扬声器单元之间距离很短，连接线的电阻很小，功放的阻尼系数得到充分发挥，更加有效地减少瞬态失真，因而能得到良好的放音质量。其次，音响系统的安装和调试也较方便。

但是从另一方面讲，有源一体化音箱对音箱内功放的温升和安全问题，以及方便维修等问题有更高要求，因而售价往往较贵。

有源一体化音箱适合于音箱分散式布置如体育场馆等场合，高质量的有源一体化音箱适宜于音乐厅、歌剧院以及其他大、中型文艺演出场合。

3) 线阵列扬声器系统。一系列垂直排列的间隔紧密、能辐射柱面波的单元箱组合称为线阵列扬声器系统，它在结构上必须满足如下的基本条件：①线阵列的声辐射器的声中心之间的间距小于最高辐射频率波长的一半；②每个单元箱的垂直辐射角不大于  $1^\circ$ （理论上要求  $0^\circ$ ）。

线阵列扬声器系统具有如下特性：

① 衰减减小。辐射的是平面波，根据平面波的传播特点，近场每增加一倍距离衰减 3dB，远场每增加一倍距离衰减 6dB。可见其辐射的衰减要比单一组合音箱的点声源辐射衰减要小，因而声辐射得更远，效率更高。

② 声场较均匀。由于各单元箱辐射的声波是互相平行的，近听是听到单个箱的声音，远听是听到整个系列的声音，因而声场较均匀。

③ 指向性可控制。线阵列扬声器系统垂直辐射角很小（一般为  $1^\circ \sim 3^\circ$ ），水平辐射角为  $120^\circ$ 。

④ 输出功率大。根据声场的需要可以排列较多的单元音箱以增大其输出功率，每增一倍功率，声压级增加 6dB。

由于线阵列扬声器系统的突出特点，近年多用于大型音响系统工程，小型的线阵列也可用于声学环境不理想的场馆和会议室的音响工程，主要是利用它能有效增强声场的直达声能，提高语言清晰度。但是应该指出，由于线阵列扬声器系统技术要求高，工艺严格，造价高，选用时应该全面考虑。

### 3.2 传声器

传声器是一种将声信号转换成相应电信号的换能器，也叫话筒或麦克风。传声器的种类很多，在音响系统中应用最广的是动圈式传声器和电容式传声器。这里主要介绍这两种传声器。

#### (1) 传声器的技术特性

传声器在音响系统中主要是把声音信号转换成电信号，再进行各种声音处理、放大和传输。可见对传声器而言，最基本的要求是有最高的转换效率和最小的失真。表征这种要求的技术指标是灵敏度、频率响应、指向性、等效噪声和输出阻抗等。

1) 灵敏度。传声器的灵敏度（或称轴向灵敏度）是指在频率为 1kHz 声压为 0.1Pa 正弦波信号，从正面  $0^\circ$  在主轴上输入时的开路输出电压，单位为 mV/Pa。有时以分 dB 表示，并规定 1V/Pa 为 0dB。一般传声器的灵敏度约为 1~20mV/Pa 或 -60~34dB。

传声器的灵敏度是传声器的重要参数，它直接表征了传声器输出电压的大小。

2) 频响特性。传声器的频响是指传声器  $0^\circ$  主轴上灵敏

度随频率而变化不超过某一规定值（例为不大于 10dB）所对应的频率范围。图 11.4-7 为典型的传声器的频响特性曲线。实际上传声器的频响特性的差别是很大的，廉价产品，频响很窄，约为 200Hz~6kHz 等，中档产品约为 100Hz~8kHz，高档产品可达 30Hz~18kHz 等。通常动圈式传声器频响较窄，低频等特性较差；电容式传声器频响较宽，低频特性较好等。

传声器的频响特性是传声器最重要的参数，它往往决定了传声器的应用场合和造价。

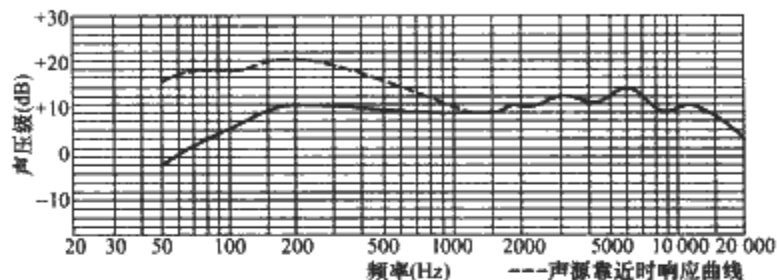


图 11.4-7 典型的传声器的频响特性

3) 方向特性。传声器的灵敏度随声波的人射方向变化的特性称方向特性，也叫指向特性。方向特性与入射声波的频率有关，频率越高其方向性越强。传声器的方向性用传声器正面  $0^\circ$  方向与背面  $180^\circ$  方向上的灵敏度的差值来表示，当差值大于 15dB 时称强方向性传声器。

不同型号、不同结构的传声器，其方向性图是不一样的，通常有圆形（称无指向形或全指向形）、8 字形（或称双指向形）、心形、强指向形和超心形等几种，如图 11.4-8 所示。

4) 输出阻抗。传声器输出端测得的交流内阻就是传声器的输出阻抗。一般以 1000Hz 的阻抗作为标称值。传声器

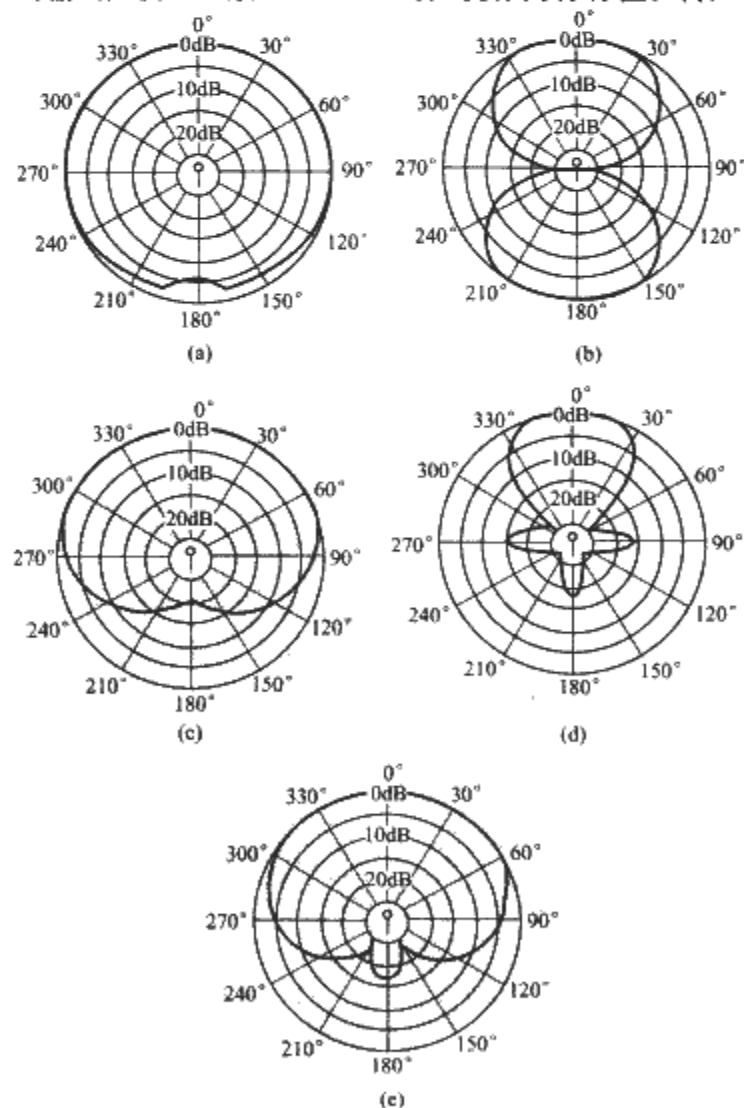


图 11.4-8 传声器的几种方向性图

(a) 圆形；(b) 8 字形；(c) 心形；(d) 强指向形；(e) 超心形

输出阻抗有低阻抗和高阻抗之分,低阻抗的数值常为 $50\Omega$ 、 $150\Omega$ 、 $200\Omega$ 、 $250\Omega$ 、 $600\Omega$ 。由于低阻抗传声器不易引入干扰电压,且方便与集成电路放大器输入级匹配,因而目前多用低阻抗传声器。

此外,传声器的技术参数还有动态范围、等效噪声级和工作电压等。

### (2) 传声器的类型

最常用的传声器有动圈传声器、电容传声器、驻极体电容传声器和无线传声器。

1) 动圈传声器。动圈式传声器是利用声波振膜振动,振膜带动音圈切割磁场的磁力线,使音圈产生对应的感应电动势,从而实现声电转换的。动圈式传声器具有牢固可靠、性能稳定、使用方便、寿命长和价格便宜等特点,因而在一般情况下使用最多的传声器。

2) 电容式传声器。电容式传声器的基本原理是传声器中的特殊膜片在声波作用下振动引起电容量的变化,电路中电流也相应变化,负载电阻上就有相应的电压输出,此微弱的电压变化经传声器内装的放大器放大后输出。

电容式传声器灵敏度较高、频率响应平坦、瞬态特性优良,但制造工艺复杂、成本高、坚固性较差。使用时需要较高直流工作电压等,一般用于高质量的音响系统中。

3) 驻极体电容传声器。驻极体电容传声器实质上就是一种电容传声器。所谓驻极体就是一种永久荷电体,在驻极体的两面,永久存在正的和负的电荷,它使传声器头的振膜加上了极化电压,声音的振动就可输出声频电信号。为了把高阻抗变换为低阻抗,驻极体电容传声器内还安装上一个场效应晶体管放大器,在实际使用中,需外加一个场效应晶体管的电源。

驻极体电容传声器具有性能尚好,使用方便、灵活,易于实现小型化和输出电平较高等的特点,因而广泛用于会议发言系统等人声为主的音响系统中。

4) 无线传声器。无线传声器由装有微型传声器的小型发射机和接收机两部分组成。使用时,声信号通过微型传声器变成电信号,由发射机调制成高频调频信号,由天线辐射出去,接收机接收并把此高频调频信号解调为原来的声频电信号。

由于无线电调频方式的优越性,因此无线传声器都是采用调频方式的,在使用频段上分为V段和U段,V段为甚高频,其频率范围从 $169\sim 216\text{MHz}$ ,U段为超高频,其频率为 $300\text{MHz}$ 以上。U段的无线传声器较V段的无线传声器的稳定性能要好,因此在要求较高的情况下宜选用U段传声器,但其价格较高。

无线传声器有单接收单话筒、双接收单话筒、双接收双话筒之分。单接收单话筒和双接收单话筒传声器都是单通道无线传声器,只是后者用两套接收系统以提高稳定性和可靠性;双接收双话筒则是双通道的无线传声器,相当于两套单通道的传声器装在一起。无线传声器还有手持式和领夹式之分。手持式适合于会议和声乐表演,领夹式则适合于话剧和讲课等之用。

### (3) 传声器的选用

传声器属音源设备,它在音响系统的最前端,因而对整个音响系统的音质影响非常大,是音响系统十分重要的设备。

选用传声器主要从使用环境考虑:

1) 一般的音响扩声系统,多使用心形动圈式传声器,在要求高的情况下宜采用心形或超心形电容式传声器。

2) 一般的会议发言系统,多选用驻极体电容传声器;在要求高的情况下可使用心形动圈式传声器。

3) 除了演奏大型节目或作节目录音时采用无方向传声器外,一般情况下均宜采用心形或超心形传声器,在作话剧演出和新闻采访时宜选超指向性传声器。

4) 当进行流行歌曲演唱时,由于常常是手持靠近嘴使用的,因而应该选用近声传声器,这种传声器克服了一般传声器具有的离声源过近时会造成低频提升,声音发闷的缺点。

5) 在活动范围大的场合,可考虑使用无线传声器,可选用有线与无线传声器混合使用。

6) 为了减少传声器到调音台的连接线拾取噪声,宜选低阻输出传声器。

## 3.3 调音台

### (1) 调音台的组成原理

在专业音响系统中,除了简单系统外,一般在传声器与功率放大器之间均接入调音台。其目的是对从多种声源来的音频信号进行混合、处理和分配。调音台是一个一体化的设备,它也可以是组合式的。它内部包括多路(通道)基本相同的电路,每路包含前置混合放大器、频率均衡器、滤波器和输出网络等基本部分。

前置混音放大器的作用是对各路输入的声音信号,按要求进行混合和放大。通常经话筒放大器、中间(节目)放大器和线路放大器对信号进行放大并通过网络对信号进行混合处理。

频率均衡与滤波器的作用是对每路输入信号进行频率特性的修饰加工,以提高声音质量。

输出网络是把经过放大和处理的声信号组合成1路、2路或4路单声道或立体声输出信号。有些调音台中还设有效果器,可随时实现对各路加入延时和混响等功能。

根据输入路数,调音台可从6~48路或更多路分成多种不同输入路数的调音台,即为6路、8路、12路、16路、24路、32路、40路、48路等;根据电路结构可分为模拟调音台和数字调音台;根据用途可分为专业调音台、录音调音台。为了适合一些功率较少(如 $100\text{W}$ 、 $200\text{W}$ )的音响系统使用,也有带功率放大器的调音台产品。

图11.4-9是基本调音台组成框图。

实际的调音台通常还设有声像方位调节、哑音开关、独听开关和各部分的电平指示等一整套齐全的监视(听)、控制和处理电路,可对每通道的输入信号作细致的调整。复杂的调音台还有输出矩阵编组、自动调音和智能化等功能。

### (2) 调音台的主要技术特性

1) 输入等效噪声电平。调音台的输入等效噪声电平是指调音台等效到输入端的噪声电平,其值越小,信噪比越大,调音台的质量越高。专业的模拟调音台输入等效噪声电平的典型值为 $(-125\sim 128)\text{dBm}$ 。

调音台的输入等效噪声电平是调音台最重要的指标之一。

2) 输入动态裕量。调音台的输入动态是指调音台前置放大器所能给出的最大不失真上限电平与额定输入电平之比。输入动态越大越好,它说明输入信号峰值过载而不失真的能力越强。专业调音台的输入动态必须留有足够的裕量,一般专业模拟调音台的输入动态裕量应该不低于 $20\text{dB}$ 。



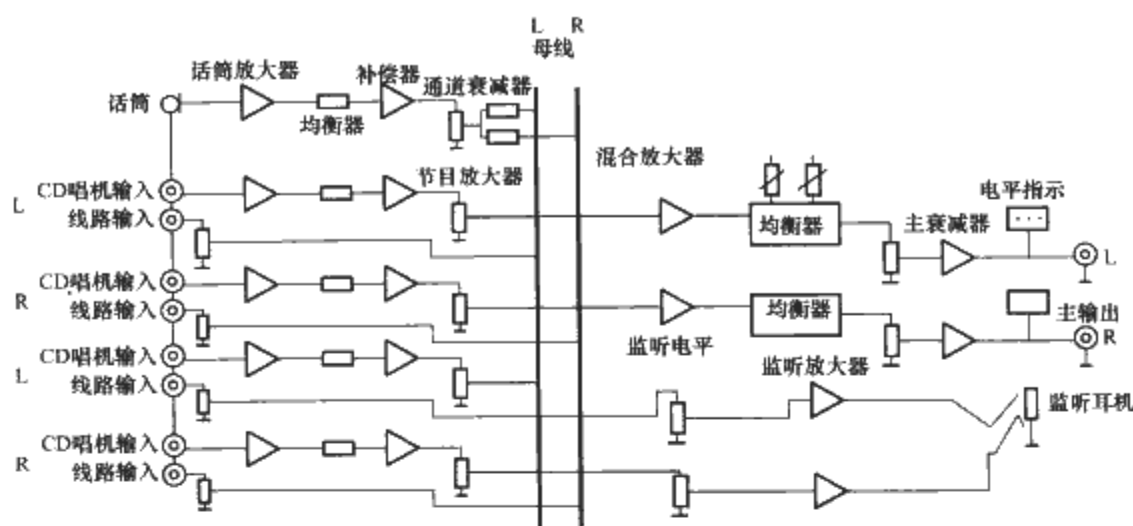


图 11.4-9 基本调音台组成框图

3) 频率响应。调音台的频率响应是指当调音台的均衡器调至 0dB 时, 调音台对各种频率信号的幅度响应。调音台的频率响应指标应该有条件的, 例如某较低端的调音台其频率响应指标为: 20Hz~30kHz (小于 1dB), 又如某高端调音台的频率响应指标为 20Hz~20kHz (任何输入到任何输出)  $\pm 0.0\text{dB}$ ,  $-0.5\text{dB}$ 。

可见, 调音台的频响指标很高, 这是由于电子电路高速发展的原因。也可以说, 在音响系统中, 在正常的情况下, 调音台的频率失真对音响设备系统的频响的影响是较小的。

4) 输入灵敏度。调音台的输入灵敏度是指当调音台达到额定输出时, 输入信号所对应的电平值。一般把调音台的额定输出电平定为 1V, 并定作 0dB。因此输入灵敏度为  $-80\text{dBu}$  (即  $0.075\text{mV}$ ) 时, 若没有特别说明, 就是指产生输出电平 1V 时的输入电平值为  $0.075\text{mV}$ 。

对调音台, 话筒输入端的灵敏度范围通常在  $-70\sim-10\text{dBu}$ , 线路输入端的灵敏度范围通常在  $-20\sim+10\text{dBu}$ 。

5) 输出特性。调音台的输出特性是指可同时输出的组数和路数、输出信号性质 (单声道或立体声)、输出电平和输出阻抗等。

通常调音台都有插入点, 在插入点处也会给出其插入点的输出和输入阻抗值, 一般来说, 调音台任何点 (包括输入点和输出点), 输入点是高阻抗, 一般从  $2\sim 10\text{k}\Omega$ , 输出点是低阻抗, 通常为  $75\Omega$ 。

### (3) 调音台类型及选用

各种形式的调音台产品很多, 规模、质量和价格相差很大, 也没有严格的分类。在此姑且按普及形和专业形来分。在专业调音台中, 专业面也很广, 有中档和高档, 有扩声和录音, 有电影和播音, 有模拟和数字等。

1) 普及型调音台。普及型调音台一般输入通道较少, 例如不多于 16 个输入通道, 输出往往只有左、右两个输出。每个通道均有最基本的配置, 如设有增益调整、频率均衡、方位调整旋钮和音量推子等。其中增益调整的的目的是根据该通道输入信号的动态大小整定, 整定后若输入声源不变, 也就基本不动。

普及型调音台和专业调音台最主要的区别在于质量指标的不同, 特别是噪声、输出动态裕量等重要指标均远低于专业型调音台。

普及型调音台多用于一般中小型会议、要求不高的小型文艺演出、俱乐部和歌舞厅等场所。

2) 专业型调音台。专业型调音台功能齐全, 技术指标高。其中要求最高的要算是电影后期制作、音乐录音棚和电台广播棚等场所, 要求调音台输入通道多, 编辑能力强, 信

噪比高和失真小; 其次是剧院、音乐厅和大礼堂等场所, 要求略低于前者; 再其次是俱乐部和歌舞厅等场所, 其属于专业型的最低档。

20 世纪 90 年代以来, 全数字化的调音台不断完善, 新产品不断出现。全数字化的调音台, 其处理技术也完全是数字化的, 信号也是数字化的, 数字调音台除了可以对声音信号混音、输入输出矩阵编组等数字处理功能外, 还有控制周边设备的通用软件和控制通道。数字调音台在信号处理方面的特征是能够非常轻松地更改混音系统的结构。可以依据软件实现按各种各样要求的调音。

数字调音台中的信号数字化, 就可以使调音台的音频信号有最高的信噪比和最小的失真, 控制的数字化、计算机化就能使数字调音台实现最强大的功能和最方便的、最快捷的控制性能。

3) DJ 调音台是专供舞厅唱机操作员使用的调音台。

## 3.4 音频功率放大器

音频功率放大器是音响系统中必不可少的单元设备, 其作用是把微弱的音频电压信号放大到具有一定功率可以推动扬声器发声的音频信号。

专业功率放大器由前置放大电路、功放电路、电源电路、保护电路等四部分组成。

### (1) 功率放大器的主要特性参数

1) 额定输出功率。功率放大器的额定输出功率是指输入 1kHz 正弦波信号, 接上额定负载时, 在允许一定失真度 (通常规定小于 0.1%) 以内的最大输出功率。

通常一台专业功率放大器内部装有两只完全相同的单声道功率放大器, 此时, 它可以当作各自独立的两台功率放大器使用, 在作双声道放大时, 一台为左声道, 一台为右声道。也可把两台功放接成桥式作单声道功放使用。

有时也把音乐节目的最大不削波输出叫音乐功率或节目功率。它要比功率放大器的额定功率约大 3~10 倍。

2) 频率响应特性。功率放大器的频率响应特性是指功率放大器对音频的幅频特性。通常是以 1kHz 的正弦音频信号作参考, 用在一定频率范围内各频率成分增益的不均匀度来表示频率响应特性。例如在 20Hz~20kHz 范围内, 增益不均匀度在  $\pm 0.5\text{dB}$  以内。可把频率响应特性简写成: 20Hz~20kHz  $\pm 0.5\text{dB}$ 。

专业的功率放大器的频率范围通常可在 20Hz 直至数十千赫, 高性能的功率放大器的频率范围甚至可至数百千赫。这样高性能的功率放大器具有很高的保真度。

3) 输出功率频率范围。输出功率频率范围是指与中频

相比,低频端和高端输出功率下降 1/2 时 (-3dB) 的频率范围。它与小输出测量的频率响应特性不同,它是表示实际使用状态下的频率范围。因而比频率响应特性的参数更重要。

4) 总谐波失真 (THD)。由功率放大器电路中的非线性元件引起的非线性失真,表现在输出信号中出现输入信号中没有的新的谐波成分,表示为

$$\text{THD} = \frac{\text{输出信号中总谐波电压的有效值}}{\text{输出信号中基波电压的有效值}}$$

专业功率放大器的总谐波失真一般在 0.1% 以内。

5) 输出阻抗。功率放大器的输出阻抗是指功率放大器能长期工作,并能使负载取得最大输出功率的匹配阻抗。由于专业功率放大器绝大多数都是采用固体器件,因而输出阻抗低而范围大,一般为 2~8Ω。

6) 互调失真率 (TIM)。互调失真是指多频率信号通过功率放大器时,由于功率放大器电路中的非线性元件而使各频率信号互相调制,使输出电压波形发生改变。它会使声音变得尖刺,有附加声音,层次不清。由于声音信号总是包含着很多种频率的信号,所以降低互调失真是非常重要的。

专业功率放大器的互调失真一般在 0.1% 以内。

7) 瞬态响应——电压转换速率。由于功率放大器本身惯性元件和分布参数的影响,功率放大器也存在瞬间响应问题。通常用输出特性的电压转换速率 V/μs 来表示。它表征放大器在大信号时输出电压对输入电压的追随能力。在实际应用中,功率放大器的电压转换速率应留有足够的余量,例如一个输出功率为 100W 的功率放大器,当负载为 8Ω 时,要重放 20kHz 的频率而不失真,其电压转换速率应为 5V/μs,考虑留有余量,其典型值可以 50V/μs。

功率放大器的阻尼系数 (h) 定义为

$$f_d = Z_l / Z_i$$

式中,  $Z_l$  为功率放大器的额定负载阻抗;  $Z_i$  为功率放大器的内阻抗;  $f_d$  为功率放大器接上等效于谐振回路的扬声器后,在输出信号突然停止时,扬声器两端产生的振荡衰减速率的大小。 $Z_i$  愈小,说明功率放大器能有效吸收由扬声器共振时音圈产生的感应电动势。因而,阻尼系数也是反映功率放大器的瞬间性能,但它是考虑接上扬声器后的瞬间情况。专业功率放大器的  $f_d$  值一般在  $10^2$  以上。

要求功率放大器与扬声器的连接线的阻抗要小,除了要减小损耗 (特别是高频损耗) 外,也是为了不降低阻尼系数,保证放音质量。此外,直流放大器在超低频范围内不降低阻尼系数,所以采用直流功率放大器可改善超低频性能。

8) 输入灵敏度。功率放大器的输入灵敏度是指额定输出功率时,输入信号的大小。通常为 0.5~1V。一般的功率放大器前的前置放大器或调音台的线路输出电平能满足这一要求。

9) 信噪比。功率放大器的信噪比定义为

$$S/N = 20 \lg \frac{\text{额定输出电压}}{\text{输入短路时输出噪声电压}}$$

上式表征功率放大器在工作时,用 dB 表示的输出电压中有用信号电压是无用的噪声电压的倍数。显然 S/N 越大,说明功率放大器的相对噪声电压越小。专业功率放大器的 S/N 值要求大于 100dB。

由上式还可看到,当两台功率大小不相同而 S/N 值相同的功率放大器,功率较大的功率放大器要比功率较小的功率放大器输出的噪声要大。因此,对功率越大的功率放大器

要求其信噪比也越高。便携式收录机属小功率放大器,要求信噪比  $S/N > 40\text{dB}$ ,而专业功率放大器则要求信噪比  $S/N > 100\text{dB}$ 。

## (2) 功率放大器的类型及应用

1) 在专业的音频功率放大器中,基本上可分为模拟功率放大器和数字功率放大器。在模拟功率放大器中可分定阻 (低阻) 输出功率放大器和定压 (高阻) 输出功率放大器。定阻输出功率放大器输出阻抗 2~8Ω,而定压输出功率放大器输出电压为 70V、100V 和 120V 等几种。除在公共广播系统中多用定压输出功率放大器外,其余大多使用定阻输出功率放大器。在一般情况下,定压输出功率放大器 (有时国外也称商用功率放大器) 的性能指标较定阻输出功率放大器低。

2) 功率放大器除了严格不超过给出的极限指标使用外,还应该注意其输出功率与负载大小有关,当接较大阻值负载时,输出功率减小,接较小阻值负载时输出功率可增大,但不能超过其极限功率,而且,除非说明书有注明,否则不宜接小于等于 2Ω 的负载。此外,要注意到,即使两台功率完全相同的功率放大器的输出端也不宜并联使用。

3) 通常专业功率放大器都是两个完全独立的通道,此时,立体声信号可分别接到每个通道,也可以利用机背的“平行”或“桥式”工作模式开关来选择,当选择“平行”时,即两通道同相输入信号,同时在两通道中输出,而选择“桥式”模式时,则是单声道输入,桥接输出。此时的实际输出功率可达单台功率放大器的 3 倍左右。这是一种在电源电压较小时,利用两台相同功放增加输出功率的一种接法。

4) 数字功率放大器采用高频开关电源,体积小,效率高。采用脉冲宽度调制 (PWM) 和 D 类放大原理,动态范围大和瞬态响应良好。随着技术上的成熟和成本的降低,它可以应用在越来越多的场合,是功率放大器发展的主要趋势。

## 3.5 音频信号处理设备

通常说的音频信号处理设备 ASP (Audio signal processor) 是指不含调音台在内的对音频信号进行修饰和加工处理的设备。其作用是:① 对音频信号进行修饰美化而使音色优美以提高艺术表现力;② 对音频信号进行加工处理,以取得某种特定的音响效果;③ 对音响信道进行控制和调整,以改善传输通道的质量,减少失真和噪声等。

用以对音频信号的处理技术,包括压缩限幅、频率均衡、延时混响、听觉激励、抑制系统反馈及分频等技术可以单独组成单元设备,也可以组成多功能的组合设备,特别是由于数字和软件技术的飞跃发展,由大量硬件构成的处理设备可以用软件来实现。当今数字音频处理器几乎已取代了模拟音频处理器。高性能、小体积、多通道、多功能、可灵活组合的大、中型数字音频处理器 DAP (Digital Audio Processor) 不断出现,它已成为数字信号处理器 DSP (Digital Signal Processor) 大家族中的一员,给音响系统工程带来了极大的方便。

### (1) 压缩器和限幅器

1) 压缩器。压缩器实质上是一个可变增益的放大器,而且当输入信号的增大超过某一阈值时,增益即随输入信号的增大而减少,压缩器的作用是为了限制动态范围过大的输入信号可能出现的过载失真。

压缩器的主要技术指标除了阈值 (或称起控电平) 外还有压缩比和恢复时间。



压缩比是指压缩器在进入压缩作用后,输出信号电平与输入信号电平增加的比值。例如,压缩比为 5:1 的压缩器,当输入信号电平起控后,输入电平增加 10dB 时输出电平增加 2dB。

当输入信号回复到起控电平以后,压缩器的增益将逐步回复到本身产生增益下降前的增益值,理论和实践均证明,当此恢复时间过短时,会使噪声和非线性失真增加;反之,则可使弱的信号变得更弱甚至掩盖在噪声中而听不到。因此,压缩器的恢复时间是一个重要参数,通常在压缩器中是可调节的,以适应各种声源的需要。

严格地说,恢复时间是指压缩器输入信号回复到起控电平以后,增益恢复到本身未产生增益下降时的增益值的一定百分数所需的时间。通常规定这个百分数为 63%。

2) 限幅器。当压缩器的压缩比足够大时,起控后的输出电平几乎不再随输入电平的增大而增大,此时压缩器就成了限幅器,刚好起限幅作用的电平称限幅器的门限电平。

常常把压缩器和限幅器装成一台设备,称为压限器。显然,在音响系统中压限器中的限幅阈值大于压缩阈值,压缩器的阈值是根据功率放大器和扬声器的最大动态范围来确定的,这样就能保持节目的层次、气势和力度。而限幅器的阈值则是根据功率放大器和扬声器的最大承受功率来确定的,这样就能起到保护功率放大器和扬声器的作用。

#### (2) 频率均衡器

1) 房间均衡器与参量均衡器。频率均衡器简称均衡器,是用来调校幅频特性的设备。它把整个音频分成若干个频段,分别对每一频段进行提升或衰减,以达到提高音质的目的。

在音响系统中通常用到有源的房间均衡器和参量均衡器。

房间均衡器多做成多频点图示式,每个频段一个调节提升或衰减的推拉电位器垂直安装在面板上,推拉电位器的推钮位置形成一条非常直观的均衡曲线。房间均衡器主要是用来调校房间频率特性的,当然也可以用来补偿或抑制信号中的某些频率成分。房间均衡器的频段可按倍频程、1/2 倍频程、1/3 倍频程……来划分。一个倍频程是指相邻频段的中心频率相差一倍。同理,1/2 倍频程是指相邻频段的中心频率相差 1/2, 1/3、1/4、1/6……倍频程均可以依此类推。频段分得越细,中心频率的频点也会越多,如一个倍频程的均衡器共有 9 个中心频率点,即 63Hz、125Hz、250Hz、500Hz 和 1kHz、2kHz、4kHz、8kHz、16kHz,称 9 段均衡器;1/3 倍频程均衡器共有 31 个中心频率点,称 31 段均衡器。显然,段数越多的均衡器,调节越精细。房间均衡器是通过每个中心频率点的电位器来调节该频率信号的提升或衰减,而中心频率点是固定不可调的。图示式均衡器控制曲线示意图如图 11.4-10 所示。

参量均衡器是因其参量,如中心频率、中心频率带宽、品质因数 Q 值和控制范围是可以调节的而得名。参量均衡器一般有 3~8 个频段,频段虽少,但因其参量可调,因此可在整个音频范围内方便、精确地对音响设备和各种节目信号进行均衡处理。例如它可以用来对某些频带进行大幅度的提升,以造成特殊的音响效果,还可以把某频点的 Q 值调得很高,使衰减曲线变得非常尖锐,这样某些干扰信号和噪声得以抑制而又不至于损失较多的有用信号。

2) 频率均衡器的应用。在一般的音响工程中,由于调音台已设有参量均衡器,它可以对话筒、前置放大器和中间放大器进行均衡。因而在功率放大器前需串接房间均衡器,

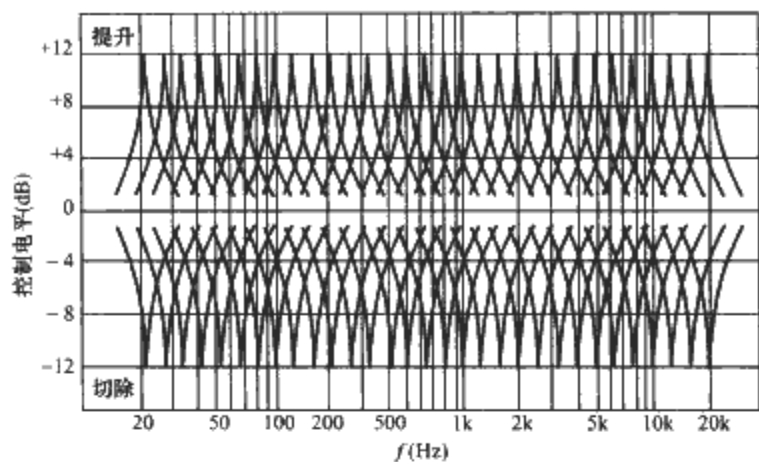


图 11.4-10 图示式均衡器控制曲线示意图

以便对扬声器和房间的声学特性进行均衡。实际上,房间各点的传递函数是不相同的,均衡器不可能同时对所有点都进行均衡的,但可对房间和扬声器的传输频率特性总体进行均衡,可改善整体声场的频响特性。在实际应用中,频率均衡器可削弱某些容易引起啸叫频点的增益,从而提高系统的传声增益。

此外,频率均衡器可对声音作适当的修饰美化,以达到改善音质的目的,例如:提升低于 50Hz 的超低音,能使人产生强有力的感觉;提升 50~250Hz 的声音,能给人以圆润、有力的感觉;提升 2~4kHz 范围内的中高频,有利于提高清晰度和层次感等。

#### (3) 延时器

延时器是音响系统工程中的重要设备之一。延时器的主要功能是把音频信号延时。它可以有多个不同延时时间的输出。每个输出的延时时间均在一定范围内可调。

在音响系统中,延时器主要有如下几个作用:

1) 在扩声系统中,当需要安装多只扬声器时,由于不同扬声器的声音传到观众席产生时间差,当此时间差超过 50ms 时,观众就听到多重声,降低了清晰度,如果此时把最靠近的扬声器的音频信号延时一定时间,使其与最晚到的声音相差在 50ms 以内,则根据人耳对声音的掩饰效应,可以在听不到多重声的同时改善了音质,增加了声音的厚度和力度。

2) 同理改善音响系统中声像与实际声源位置的不一致性。

3) 延时器还可以产生模拟立体声和合唱效果等。

#### (4) 数字多功能效果器

数字多功能效果器实际上就是延时器和效果器的集成。它一般都具有一百种以上的可选择预置效果,包括多种长短时间的延时;模拟大、中、小各类房间多种模式的混响;变调合唱、谐音和早期反射声等,使用十分方便。

此外,还有增强声音穿透力的听觉激励器、抑制产生啸叫的反馈抑制器和移频器等。

### 3.6 扩声设备的互连

各个单元选定以后,就有一个如何合理连接组成系统的问题,因为只有恰当的配接,才能更好地发挥各个单元设备的作用,才有好的整体指标。以下从匹配、信噪比等方面出发,讨论其互连问题。

#### (1) 电平匹配

扩声系统各单元设备相连时必须使前级的输出电平与后级的输入电平相配,即达到电平匹配。此时,信号的传输效率最高。如果前级的输出电平低于后级的输入电平,则后级无法很好发挥其效能,且信噪比会降低,甚至不能正常工

作。如果前级的输出电平大于后级的输入电平,则后级可能产生削波失真。因此,单元设备在互连时首先要从设备标称的额定输出电压或额定输入电压,最大输出电压或最大输入电压,最小输出电压或最小输入电压来选取单元设备。

由于调音台的输出电平和功率放大器输入电平的设计是互相匹配的,因而当在调音台和功率放大器之间接入单元设备,如均衡器、压限器、效果器等时,它们的增益应该为1,否则将会破坏电平匹配的原则,使设备的性能不能充分发挥。

#### (2) 阻抗匹配

在电工原理中,阻抗匹配的含义是当信号源的阻抗等于负载阻抗时,从信号源中取得最大功率。然而在音响系统中,级间的阻抗匹配有更广泛的含义,即作为负载的后一级设备输入阻抗与作为信号源的前一级设备的输出阻抗之比的取值能使设备以及整个系统满意工作,就被认为它们的阻抗是匹配的。根据这一概念,后级设备的输入阻抗应比前级设备的输出阻抗大10倍以上,这样就能改善音频信号的传输频率响应,并能保证传输时信号源消耗的功率最小,从而可增大传输距离。

#### (3) 信噪比

众所周知,对扩声单元设备来说,由于调音台内部设有放大电路和很多处理电路,很多可调节的推子和旋钮以及各种插口,因而要提高其信噪比是相当困难的。而在调音台和功率放大器之间接入的处理器,要提高其信噪比相对容易,因而为了不接入这些设备而降低系统的信噪比,它们的信噪比应等于或十分接近调音台的信噪比。这样才不至于由于它们的接入而降低系统的信噪比。

#### (4) 信号传输

1) 各单元设备间的信号传输方式和传输介质,应遵循以下原则:从传声器开始到功率放大器的连接,应采取平衡式,其导线应为多芯屏蔽(95%以上)式,因平衡式可以提高抗干扰能力,从而可减少外界引入的噪声。

2) 功率放大器与扬声器的连接导线应该是多股纯铜线,其极限长度应控制在功率损耗小于0.5dB(相当于12%),因而与负载阻抗有关。

### 3.7 音响系统的接地

音响系统的接地是指保证系统正常工作的工作接地,是与保护接地或安全接地相分开的独立接地。这在机房建筑中需作统一考虑,应该预留出来以备安装调试时使用。工作接地电阻理论上越小越好,在没有特别要求的情况下,常年能保证小于 $2\Omega$ 即可。音响系统设备工作接地的走线应严格按照一点接地原则,该点至各单元设备的接地连线采用星形方式,要避免地环路带来地电流造成的干扰。

### 3.8 音响系统的供电

音响系统的供电应该考虑以下两个方面:

一方面要保证足够的供电容量裕度,即总供电容量要在设备总容量的3倍以上;另一方面,要保证供电质量,即要保证供给无污染的净化电源,对大型的剧院、大会堂、体育馆和大型多功能厅堂的音响供电系统,要有三相电源的专用线路,最好是有独立变压器供电,应尽量避免和晶闸管调光器共用同一电源变压器或共用一组电源供电线路;对于中型的音响系统,在共用同一供电变压器或同一组电源供电线路时,应使用独立松耦合的1:1隔离变压器。同时,应视音响系统的重要程度确定是否需要采用两路供电线路;对于小

型的音响系统,在没有条件使用隔离变压器,更没有条件使用专线供电的情况下,也要适当考虑与晶闸管调光器的电源错开相位,如音响系统电源接A相,调光器接B、C相。

## 4 公共广播系统

公共广播是由使用单位自行管理的,为在该单位相关范围内活动的公众服务的声音广播,通常用于发布新闻、内部信息、提供背景音乐以及用于寻呼和强行插入突发公共事件紧急广播等。公共广播系统则是指为公共广播覆盖区服务的所有公共广播设备、设施及公共广播覆盖区的声场环境所形成的一个有机整体。

### 4.1 公共广播系统的特点及其组成

公共广播系统的作用包括背景音乐、业务和事故紧急广播等。一般可按用途的不同而分为业务性广播和紧急广播两大类。各类系统又可按其功率设置和系统结构的不同而分为若干等级(参见相关标准)。公共广播的终端——扬声器往往是距离较远和布置分散;公共广播通常有特定的功能,例如背景音乐的连续播放、业务广播的定时播放、事故紧急广播自动播放等。这些特点决定了公共广播要特别考虑它的传输方式、功能要求和可靠性。说到底,公共广播也是一个扩声系统,但它是一个开环系统,而扩声系统通常是闭环系统。人们往往对公共广播音质的要求不如上述所说的扩声系统那么高。然而播放的背景音乐应该是失真小,音质优美的。

#### (1) 公共广播系统传输特点

公共广播系统音频的传输方式主要有如下两种:

1) 高电平传输方式。即机房的功率放大器到扬声器是采用高电平传输的。一般为100V或70V,其优点是线路损耗少、负载连接方便,只是把带变压器的扬声器并接在线路上即可。在这种情况下,当所接扬声器的阻抗相同时,其分配到的功率也相同。高电平传输也称定压传输,由于其输出电压较高,故电流较小,在线路上的损耗也较小,是广为采用的传输方式。

2) 低电平传输方式。在这种方式中,传输线路只向终端(含一组扬声器)传送约等于1V的线路信号到扬声器组附近的功率放大器(分机柜),经功放后再以低电平方式送到扬声器组。这种方式可避免大功率音频电流的远距离传输。它只适用于控制室距终端远,而终端各个区域的扬声器又相对集中的情况。这实际上是信号的传输而不是功率的传输,通常主机房把音频信号通过总线方式控制,实现把信号(含模拟及数字信号)传输到指定的分区扬声器组的目的。

网络多路传输也属于低电平传输,在这种情况下,其终端最宜使用有源小功率天花扬声器。

#### (2) 公共广播系统的组成

与基本公共广播系统比较,多功能公共广播系统增加了分区报警/强插功能。它较基本公共广播系统增加报警矩阵、分区强插、分区寻呼、电话接口以及主/备用功放切换、应急电源等环节。

报警矩阵是与消防中心连接的智能化接口,可以编程。当消防中心发出某分区火警信号时,报警矩阵能根据预编程序的要求,自动地强行开放警报区及其相关的邻区,以便插入紧急广播。对于具有音控器的分区,需在分区电源的帮助下才能强行打开(或绕过)音控器进行插入,灭火的邻区将继续播放背景音乐。在警报启动时,报警信号发生器也被激

活,自动地向警报区发送警笛或先期固化的告警录音(如指导公众疏散的录音)。如有必要,可用消防话筒实时指挥现场调度。消防话筒具有最高优先权,能抑制包括警笛在内的所有信号。

分区寻呼器可以开启由分区选择器管理的任一个或几个分区,插入寻呼广播。

电话接口是与公共电话网连接的智能化接口。当有电话呼叫时能自动摘机,向广播区播放来话,使得主管人员可以通过电话发布广播。当电话主叫方挂机时,系统亦会自动挂机。具有线路输入口,可以配置调音台、前置放大器等设备,以便举行电话会议。

主/备功放切换器可以提高系统的可靠性。当主功放发生故障时能自动切换至备用功放。在一般情况下,背景音乐是不需要配置备用功放的。

## 4.2 智能公共广播系统

智能公共广播系统是集紧急广播、背景音乐广播和业务呼叫于一体的全计算机集中控制的大型广播系统。它采用了数字化控制方式,把控制线与音频功率线按楼别分开,最多可集中控制多栋楼,每栋楼又组成独立系统(栋别基础站),并通过集中控制器将各栋的系统连接组网集中控制,系统中除栋别基站为音频功率实体外,其他各级为不含音频功率的控制级。

1) 控制系统分成四级。即四级工作站,1~3级可实现内部通信。

①中央主控站。中央主控站由集中控制器组成,可控制多个栋别工作站(基础站),集中控制拥有最高优先权,可控制操作各栋别工作站的广播,监视各栋工作站的工作状态。

②栋别基础站。是每栋楼内的音频功率实体。控制主机输入楼内各种外部报警信号(火灾、手动报警、内部电话、盗警等)自动发出相应内容的人声广播,是该栋最高控制级,可控制多达100~200路扬声器,可通过CPU控制矩阵对不同的楼层进行不同音源内容的广播。

③楼内紧急分控站。用紧急遥控器在楼内任意点设立分控站,遥控器的功能实际上与栋别基础站主控器是相同的。在紧急情况下,无法操作基础站控制主机时,可作主机使用。

④区域呼叫站。用多功能遥控器在楼内任意点设区域呼叫站,可对各楼层进行编辑组广播或对各个楼层进行选择广播。

2) 应用计算机控制和管理,实现智能化。

①1~3级工作站间通过设备内置CPU及外部计算机组网控制,1~3级工作站间由RS232C、RS422数据传输,使控制线与音频功率输送线分开,实现大规模的集中控制。

②系统1~2级通过RS232C与计算机连接,可以实现大系统的计算机控制和管理;设定系统功能(输入设定、失火层和联动层的设定、广播内容设定);计算机监控;显示和记录异常情况与系统故障。

③系统内部由CPU实现智能化控制和管理;对扬声器和设备自检,设定向不同区域传输不同的声源功率;通过对各种报警信号的识别发出预警广播、火警广播和通知等人声广播;合理分配系统内部单元的功率等。

## 4.3 智能化公共广播控制中心

公共广播控制中心具有高度智能化、集成化和非常友好介面等特点,在工程中很有实用价值。广播中心把多功能公共广播系统中除功放以及扬声器终端以外所有设备的功能都集成在

一起,由内置的电脑进行管理。其主要功能和特点如下:

1) 友好的大幅显示屏幕。

2) 简单易用的触摸屏(或轨迹球)操控。

3) 数码广播矩阵有4~17个音频输入通道,4~64个分区输出通道可自由分配,8个节目源可同时分配到64个区域。

4) 内置4种音源:紧急传声器、钟声/警笛、CD和电声节目源。电声节目源为独家音源,能支持一个星期以上连续的不重复的背景音乐广播。

5) 可根据客户要求设置特殊节目音源,如国歌、课间操、正点钟声、特种警笛和广播用语音文件等。

6) 具有可编程的消防接口,能自动分区(并向选定的邻区)强行插入灾害性广播。

7) 主机及外围设备可编程定时,无人值守运行。

8) 可通过1~4个远程遥控器进行遥控分区寻呼。

9) 备有市话接口,自动接驳来电,便于电话遥控或举行电话会议。

## 4.4 公共广播系统的设计

1) 首先根据用户的功能需求、用户的重要程度和投资情况,选定广播系统方案。在一般情况下可在现有产品中选用同一品牌成套产品,这有利于系统的安装和维修。

2) 根据分区的多少以及各区的距离,确定分区数和传输方式。

3) 扬声器的选用。

公共广播广泛使用天花扬声器,把它安装在走廊、大堂、电梯间、写字间的天花板上。在特殊情况下,需要对扬声器有特殊的要求,现分述如下:

①单只天花扬声器的额定功率一般取3~10W,按一般天花板3m高度计,其在人耳高度(约1.6m)处所产生的声压级已足够。扬声器间距则取决于对于声压不均匀度的要求,这可根据扬声器的辐射角 $\alpha$ (一般指在指向性图中由轴向分别向两边各降低10dB的夹角)、天花和人耳的高度,通过简单的计算而得到。大多数锥形纸盒扬声器的 $\alpha \approx 90^\circ$ ,当天花高度 $h=3\text{m}$ ,人耳高度取1.6m,声压不均匀度不大于10dB时,扬声器间距约为4m,实际可按4~6m布置。

②在停车场、设备机房、地下室或潮湿的地方也可挂墙安装小型号角扬声器,其功率一般为5~20W。

③在特别高和宽的厅堂(如大展览厅高可达20~30m,宽可达60~80m),可采用大功率组合式带指向性的天花扬声器(如100~300W带号角扬声器)。

4) 公共广播系统的功率容量计算。

公共广播系统功率总容量为

$$P = K_1 K_2 \sum P_0$$

式中, $P$ 为功率输出总电功率; $P_0$ 为 $K_1 P_i$ ,每分路同时广播时最大电功率, $P_i$ 为第 $i$ 分路扬声器的额定容量, $K_1$ 为第 $i$ 分路的同时需要系数,背景音乐系数 $K_1=0.5\sim 0.6$ ,业务性广播 $K_1=0.7\sim 0.8$ ,火灾事故紧急广播 $K_1=1.0$ ;  $K_2$ 为线路损耗补偿系数,线路损耗1dB时取1.26,线路损耗2dB时取1.58; $K_2$ 为老化系数,一般取1.2~1.4。

如果是单纯的播放背景音乐系统,广播功放的额定输出功率应取广播扬声器总功率的1.3倍左右。如果是与灾害事故紧急广播兼容的系统,则必须有两路功率放大器,按我国火灾事故广播设计安装规范要求,该紧急广播功放的额定输出功率应是广播扬声器容量最大的3个分区中扬声器容量总和的1.5倍。

## 第5章 计算机网络系统

计算机网络系统根据其地理分布区域,可分为广域网(WAN)和局域网(LAN),广域网是指使用长距离远程通信链路来连接彼此间相距遥远的网络计算机,如城市之间的计算机网络,互联网(Internet)是广域网的最大型式。局域网是指覆盖区域相对较小(最多到几千米)的计算机网络,如由一个办公区、一幢建筑物或建筑群的计算机所构成的网络。

本章适用于民用建筑及建筑群中通过硬件和软件,实现建筑物内及建筑群的网路数据通信及办公自动化系统等应用的计算机局域网设计,如政府行政办公楼、企事业单位办公楼中办公自动化应用网络;酒店经营管理、会展业务、航站楼运营、博物馆展陈等商业运营计算机网络;商业写字楼、住宅等 Internet 宽带接入网络;物业管理应用网络;建筑设备管理、综合安防系统等智能化系统管理层数据交换网络等。

### 1 计算机网络通信原理

计算机网络中计算机之间的通信通常使用的是“分层体系结构”(Layered Architecture)。也就是说,计算机之间完成整体的通信任务几乎不可能由单一的程序来实现,而是由一组彼此功能相关的模块来实现,并且各模块之间呈现明显的层次结构。每一层实现一组任务功能。在同层次间的通信进程中,一方计算机的某层与另一方计算机的相应层进行“谈话”。两台计算机中的对应层称为同层实体或同等进程,因为双方实现相同的功能并且处在相同的层次上。这样,两个同层实体之间通信时使用的“语言”就称为协议(Protocol)。通常我们依据协议所在的层次来对协议进行分类。

一台计算机在通信时所使用的分层协议总称为协议栈(Protocol Stack),为了完成同层实体间的通信任务,网络中所有的计算机必须采用相同的协议栈。如下述两个协议栈:Novell 所使用的 SPX/IPX 和 Internet 所使用的 TCP/IP。如果两台采用不同协议栈的计算机需要互相通信时,需要使用网关(Gateway)来完成协议的互相转换。

图 11.5-1 描述了对等层上完成实体之间的逻辑信息交换时的工作过程。数据在逐层向下传递,直至最底层。最底层总是物理介质,可以使用电缆(或者是用无线电发送器)把二进制信息传递到另一台计算机。当数据到达另一台计算机时,则逐层向上传递,直至对等层实体。所有的现代计算机网络基本上都是以这样的方式进行通信的。

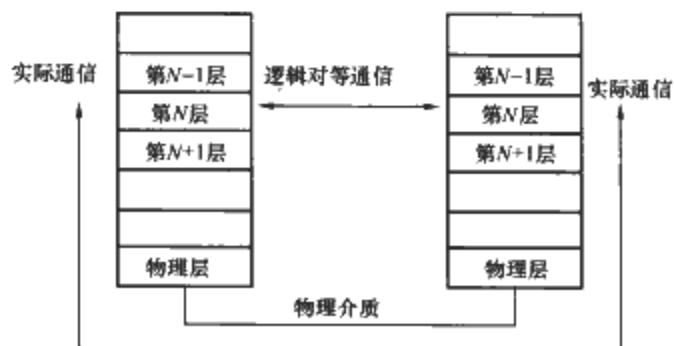


图 11.5-1 计算机通信分层体系结构

分层通信的优点很多,首先,各层的功能可以相互独立地实现。每一层都有预先定义的需要完成的功能,并且与相邻层有特定的接口定义,使得每一层的实现恰恰相当于一个“黑盒子”。正是由于这样的原因,我们可以利用新技术修改甚至完全重写,以便更好地实现某一层功能。唯一的要求就是:保持固定一致的接口定义,从而确保与相邻层之间的相互操作不会发生改变。

类似地,通过定义相邻层之间的功能和接口,完整的协议就可以移植到不同的硬件或者不同的操作系统上。事实上,我们可以通过硬件来实现某些层(主要基于速度方面的考虑),通过软件来实现其他层(主要基于易于升级的考虑)。协议、体系结构以及接口的概念在网络中的广泛应用,其原因在于以下两点,一是标准的规定;一是已有产品的影响。前者为 OSI 参考模型,后者为 TCP/IP。

网络通信协议也可以根据开放或专用来分类。开放系统是由相互合作的几个组织协商达成的。相应地,由单一公司独立研究并且其协议标准并不公布于众的系统则称为专用系统。

开放系统包括 OSI 参考模型、X.25 协议、X.400 消息处理系统(E-mail)和 IEEE 802 标准(局域网)。对于开放系统,不利之处在于不同厂家之间对一致性的协商可能使体系结构过于庞大。

专用系统包括 IBM 的 SNA、DEC 的 DECnet、Novell 的 NetWare 和 Microsoft 的 Windows/NT 等,对于专用系统,用户被迫使用单一的或很有限的资源,但系统性能会有提高,因为厂家可以专心致力于提供高效率的功能实现。

### 2 计算机网络标准

网络的根本是实现互相通信,一个网络中使用的软硬件产品可能由多家生产商提供,因此计算机网络系统中使用的软硬件标准应遵循国际标准,如国际标准化组织(ISO)的开放系统互连标准(OSI)、美国电气与电子工程师协会(IEEE)的局域网标准(IEEE 802.x)、Internet 工业标准传输控制/网络互连协议栈(TCP/IP)等。

网络标准定义了网络软硬件以下方面的物理和操作特性:个人计算机环境、网络和通信设备、操作系统、软件。目前计算机工业主要来自有数的几个组织,这些组织中的每一家都定义了不同网络活动领域中的标准。

#### 2.1 OSI 参考模型

OSI 参考模型是著名的网络体系结构模型,也是学习网络最常用的工具。OSI 参考模型的分层结构,由低到高共七层,即物理层、数据链路层、网络层、运输层、会话层、表示层、应用层。

##### (1) 物理层

物理层(Physical Layer)位于七层结构的最底层,它不是网络应用上具体的物理设备或传输媒体(双绞线、同轴电缆等),它是对规定的物理设备或传输媒体的物理特性的抽象,它包括机械特性、电气特性等。其任务是为上一层



(即数据链路层) 提供一个物理连接。物理层主要考虑如何在互连系统的物理媒体上传输比特流, 例如: 多大的电压代表“1”或“0”, 以及当发出比特“1”时, 在连接端如何识别出这是比特“1”而不是比特“0”。物理层还确定连接电缆的插头应当有多少根引脚以及各个引脚应如何连接。

(2) 数据链路层

数据链路层 (Data Link Layer) 利用物理层所建立的物理连接, 在两个相邻结点线路上无差错地传送数据。物理层传送的数据单位是比特, 相比之下, 数据链路层的数据传送以帧为单位, 每一帧包含一定数量的数据信息并附加一些必要的控制信息。在每一帧所包括的控制信息中, 有同步信息、地址信息、差错控制及流量控制信息等。数据链路层要负责建立、维持和释放数据链路的连接。在传送数据时, 若接受节点检测到所传数据有差错, 就要通知发方重发这一帧, 直到这一帧正确无误地到达接受节点为止。

这样, 数据链路层就把一条可能有差错的实际链路, 转变成成为网络层看起来好像是一条不出差错的链路。

(3) 网络层

网络层 (Network Layer) 与子网运作密切相关。在网络层, 数据传送的单位是包或分组。网络层的任务就是选择合适的路由和交换节点, 使发送站的运输层所传下来的分组能够正确地按照地址找到目的站, 并交付给目的站的运输层。这就是网络层的寻址功能。

(4) 运输层

运输层 (Transport Layer) 的任务是从会话层接受数据, 然后传送给网络层。在运输层, 信息传送的单位是报文。当报文较长时, 先要把它分成好几个分组, 然后再交给下一个层 (网络层) 进行传输, 并且确保这些分组能正确到达目的站。

运输层的任务是根据通信子网的特性最佳地利用网络资源, 并以可靠和经济的方式, 为目的站和源站的会话层之间, 建立一条运输连接, 并透明地传送报文。运输层就成为计算机网络体系结构中最为关键的一层。

(5) 会话层

会话层 (Session Layer) 提供了在不同端点上用户建立对话的能力。会话层虽然不参与具体的数据传输, 但却对数据传输进行管理。会话层在两个相互通信的应用进程之间, 建立、组织和协调其交互。例如, 确定是全双工工作还是半双工工作, 对于半双工方式还能监测会话的次序 (令牌管理); 还有另一个问题就是同步, 当发生意外时, 要确定重新恢复会话时应从何处开始。

(6) 表示层

表示层 (Presentation Layer) 主要解决用户信息的语法表示问题。表示层把要交换的数据从适合于某一用户的抽象语法, 变换成适合于 OSI 系统内部使用的传送语法。表示层不参与数据传输, 它所要做的是确保数据经传输后意义不变。有了这样的表示层, 用户就可以把精力集中在他们所要交谈的问题本身, 而不必更多地考虑对方的某些特性。例如, 对方使用的是什么语言。

对于传送信息的加密解密也是这一层的任务之一。

(7) 应用层

应用层 (Application Layer) 是 OSI 参考模型的最高层, 包含众多复杂的协议。应用层确定进程之间通信的性质以满足用户的需要 (这反映在用户产生的服务请求中); 负责用户信息的语义表示, 并在两个通信者间进行语义匹配。这就是说, 应用层不仅要提供应用进程所需的信息交换和远地操

作, 还要作为互相作用的应用进程的用户代理, 来完成一些为进程语义上有意义的信息交换所必需的功能。

在 OSI 的七个层次中, 应用层是最复杂的, 所包含的应用层协议也最多。

以上所述各层的主要功能归纳如下:

应用层: 与用户应用进程的接口。

表示层: 数据格式的转换。

会话层: 会话的管理与数据传输的同步。

运输层: 从端到端经网络透明地传送报文。

网络层: 分组交换、路由选择和流量控制。

数据链路层: 在链路上无差错地传送帧。

物理层: 将比特流送入到物理媒体上传送。

为了方便起见, 常把这七个层次分为高层与底层。低层为 1~4 层, 是面向通信的; 高层是 5~7 层, 是面向信息处理的, 描述见表 11.5-1。

表 11.5-1 OSI 参考模型

OSI 分层结构	各层主要功能与网络活动
7 应用层	应用层是 OSI 模型的最高层, 该层的服务是直接支持用户应用程序, 如用于文件传输、数据库访问和电子邮件的软件
6 表示层	表示层定义了在互联网计算机之间交换信息的格式, 可将其看作是网络的翻译器。表示层负责协议转换、数据格式翻译、数据加密、字符集的改变或转换。表示层还管理数据压缩
5 会话层	会话层负责管理不同的计算机之间的对话, 它完成名称识别及其他两个应用程序网络通信所必需的功能, 如安全性。会话层通过在数据流中设置检查点来提供用户间的同步服务
4 传输层	传输层确保在发送方与接收方计算机之间正确无误、按顺序、无丢失或无重复地传输数据包, 并提供流量控制和错误处理功能
3 网络层	网络层负责处理消息并将逻辑地址翻译成物理地址, 网络层还根据网络状况、服务优先级和其他条件决定数据的传输路径, 它还管理网络中的数据流问题, 如分组交换及路由和数据拥塞控制
2 数据链路层	(1) 负责将数据帧从网络层发送到物理层, 它控制进出网络传输介质的电脉冲 (2) 负责将数据帧通过物理层从一台计算机无差错地传输到另一台计算机
1 物理层	物理层是 OSI 模型的最底层, 又称“硬件层”, 其上各层的功能相对第一层也可被看作软件活动 (1) 负责网络中计算机之间物理链路的建立, 还负责运载由其上各层产生的数据信号 (2) 定义了传输介质与 NIC 如何连接, 如: 定义了连接器有多少针以及每个针的作用, 还定义了通过网络传输介质发送数据时所用的传输技术 (3) 提供数据编码和位同步功能, 因为不同的介质以不同的物理方式传输位, 物理层定义每个脉冲周期以及每一位是如何转换成网络传输介质的电或光脉冲的

2.2 局域网参考模型与 IEEE 802 标准

(1) 局域网参考模型

前面介绍了开放系统互联 OSI 参考模型。局域网既然是网络系统的一种, 它也应该参考和引用该模型, 并结合本身的特点制定自己的具体模型与标准。

局域网在通信方面有自己的特点: 第一, 其数据是以帧为单位传输的。第二, 局域网内部一般不需要中间转接, 所以也不要求路由选择。因此, 局域网的参考模型相对应于 OSI 参考模型中的最低两层, 如图 11.5-2 所示。物理层用

来建立物理连接是需要的,数据链路层把数据构成帧进行传输,并实现帧顺序控制、错误控制及流控制功能,使不可靠的链路变为可靠的链路,这也是必需的。局域网不需要路由选择,所以不需要网络层。

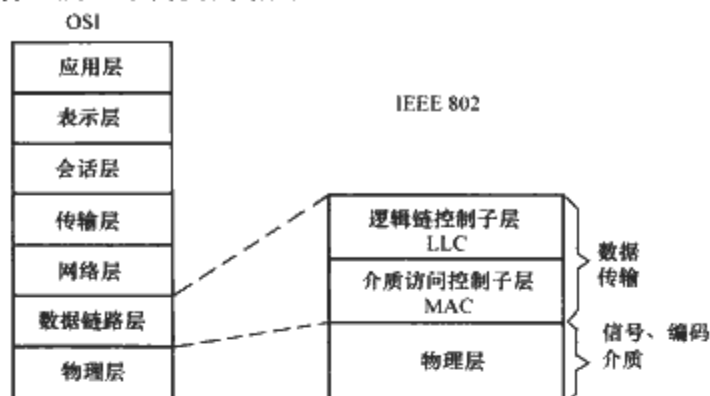


图 11.5-2 IEEE 802 局域网参考模型

**物理层：**这层和 OSI 的物理层功能一样,主要处理位流的传输与接收。它规定了所使用的信号、编码和介质,规定有关拓扑结构如环形、总线形、树形等;有关信号与编码,如曼彻斯特码、差分曼彻斯特码、非归零码等以及有关速率,如 1Mbit/s、4Mbit/s、10Mbit/s 和 20Mbit/s 等;传输介质包括双绞线、同轴电缆和光缆等。

**数据链路层：**该层又细分为两个功能子层:逻辑链控制(LLC)子层和介质访问控制(MAC)子层。这种功能分解主要是为了使数据链功能中与硬件有关的部分和与硬件无关的部分分开。局域网数据链路层与 OSI 的数据链路层功能上相似,都是涉及帧在两站之间的传输问题,但局域网内帧的传输没有中间交换节点。

**数据链路控制(LLC)子层：**该层向高层提供一个或多个逻辑接口或称为服务访问点(SAP)。它具有帧收、发功能。发送时把要求发送的数据加上地址和 CRC 校验功能,并具有帧顺序与错误控制及流控制等功能。这一层还包括某种网络层功能,如数据报、虚电路和多路复用等。

**介质访问控制(MAC)子层：**这一层具有管理多个源、多个目的链路的功能,这是传统的数据链路控制所没有的。IEEE 802 制定了几种介质访问控制方法,同一个 LLC 层能与其中任一种访问方法接口,目前这些介质访问控制方法包括“载波监听、冲突检测多重访问”(CSMA/CD)方法、“令牌总线”(Token-Bus)及“令牌环”(Token-Ring)等访问方法。

## (2) IEEE 802.x 标准

该标准系列目前包括 802.1~802.6 各项,如图 11.5-3 所示,其他标准如 802.7 宽带网标准也在制定中。IEEE 802 标准只定义了以下两层协议:

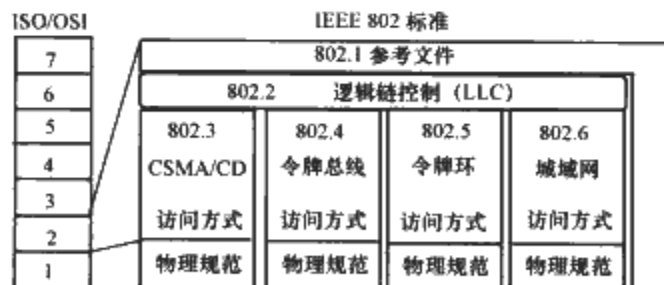


图 11.5-3 IEEE 802 局域网各项标准

**IEEE 802 帧格式：**IEEE 802 定义了 LLC 层帧格式和 MAC 层帧格式,如图 11.5-4 所示。在帧发送过程中,LLC 帧将传递给 MAC 层并作为 MAC 帧的数据字段,嵌入 MAC 帧中。IEEE 802 支持三种 MAC 帧格式,即 CSMA/CD、令牌总线与令牌环等。

牌总线与令牌环等。

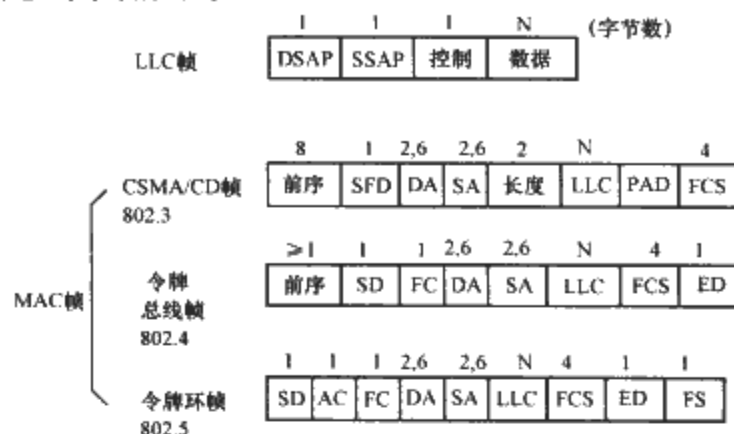


图 11.5-4 IEEE 802 帧格式

DSAP—目的服务访问点;SSAP—源服务访问点;SFD—起始帧分界符;DA—目的地址;SA—源地址;LLC—逻辑链控制 MAC 的 DATA 字段;FCS—帧校验序列;SD—起始分界符;FC—帧控制字段;ED—结束分界符;AC—访问控制;FS—帧控制;PAD—填充字段

由图 11.5-4 可见,帧格式中地址信息已分裂成两部分,一部分是 MAC 帧中的源地址 SA 与目的地址 DA;另一部分是 LLC 帧中的源与目的服务访问点(SSAP, DSAP)。它们分别放进 MAC 帧及 LLC 帧的帧头中。源/目的服务访问点仅为 LLC 帧所需,而源/目的地址字段则是 MAC 层功能的重要组成部分,由 MAC 使用,也是 LLC 层所需要的。

**相邻层间关系：**图 11.5-5 给出了局域网参考模型各层间的关系。高层与 LLC 子层之间的数据单元称为包(Packet),LLC 子层把包封装成 LLC 帧,即把包作为 LLC 帧的数据字段,加上 LLC 层目的服务访问点、源服务访问点及某些控制信息构成 LLC 帧。LLC 帧将传递给 MAC 子层。MAC 子层又把 LLC 帧封成 MAC 帧,即把 LLC 帧作为 MAC 帧的数据字段,加上源地址 SA 和目的地址 DA(即 MAC 服务访问点)字段和帧校验序列以及某些 MAC 控制信息构成 MAC 帧。MAC 帧将传递给物理层进行位流传输。

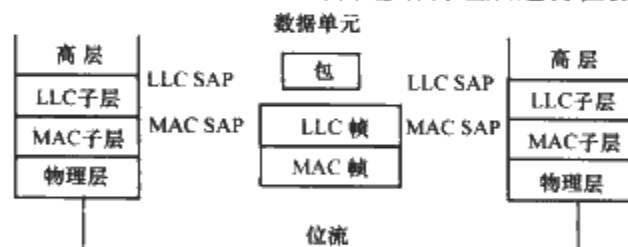


图 11.5-5 相邻层间交换的数据元

## 2.3 TCP/IP 协议

### (1) 传输控制/网络互联(TCP/IP)协议栈

TCP/IP 是指一套开放式工业标准的协议栈,它已经成为不同类型计算机之间互相通信的网际协议标准。此外,TCP/IP 还提供可路由的企业网络协议,可访问 Internet 及其资源。它由两个协议组成,即传输控制协议(Transmission Control Protocol, TCP)和网间协议(Internet Protocol, IP)。

Internet 协议(IP)是一种包交换协议,它完成寻址和路由选择功能;传输控制协议(TCP)负责数据从某个节点到另一节点的可靠传输,它是一种基于连接的协议。由于 TCP/IP 的开发早于 OSI 模型的开发,它与七层 OSI 模型各层不完全匹配,TCP/IP 分为四层,分别对应于 OSI 模型中的传输层与网络层。

如图 11.5-6 所示,TCP/IP 协议分为三部分:

1) 第一部分也称为网络层:包括 Internet 协议(IP)、



ISO/OSI	TCP/IP				
5-7	SMTP	DNS	NSP	FTP	TELNET
4	TCP		UDP		NVP
3	IP	ICMP		ARP	RARP
2	Ethernet	ARPANET	PDN	其他(SNA等)	

图 11.5-6 TCP/IP 与 OSI 参考模型的对应关系  
网际控制报文协议 (ICMP) 和地址识别协议 (ARP)。

Internet 协议 (IP) 被设计成互联分组交换通信网, 以形成一个网际通信环境。它负责在源主机和目的地主机之间传输来自其高层软件的称为数据报文的数据块。它在源和目的地之间提供非连接型传递服务。

网际控制报文协议 (ICMP) 实际上不是 IP 层部分, 但直接同 IP 层一起工作。报告网络上的某些出错情况, 允许网际路由器传输差错信息或测试报文。

地址识别协议 (ARP) 实际上不是网络层部分, 它处于 IP 和数据链路层之间, 它是在 32 位 IP 地址和 48 位局域网地址之间执行翻译的协议。

2) 第二部分是传输层协议: 包括传输控制协议和用户数据报文协议。

传输控制协议 (TCP): 由于 IP 提供非连接型传递服务, 因此 TCP 应为应用程序存取网络创造条件, 使用可靠的面向连接的传输层服务。该协议为建立网际上用户进程之间的对话负责。此外, 还确保两个以上进程之间的可靠通信。它所提供的功能有: 监听输入对话建立请求, 请求另一网络站点对话, 可靠地发送和接收数据, 适度地关闭对话。

用户数据报文协议 (UDP): UDP 提供不可靠的非连接型传输层服务, 它允许在源和目的地站点之间传送数据, 而不必在传送数据之前建立对话。此外, 该协议还不使用 TCP 使用的端对端差错校验。当使用 UDP 时, 传输层功能全都发挥, 而开销却比较低。它主要用于那些不要求 TCP 协议的非连接型的应用程序。例如, 名字服务和网络管理。

3) 第三部分是网络应用层: 提供诸如 TELNET、文件传送协议 FTP、域名字服务 DNS 和简单的邮件传送程序 SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) 等应用程序。

TCP/IP 各层的功能以及与 OSI 模型的对应关系参见表 11.5-2。

表 11.5-2 TCP/IP 各层功能及与 OSI 模型的对应关系

TCP/IP 分层	TCP/IP 各层的功能	TCP/IP 相当于 OSI 模型的分层
网络接口层	提供网络体系结构 (如以太网、令牌环) 和 Internet 层间的接口, 可直接与网络进行通信	物理层和数据链路层
Internet 层	使用几种协议用来路由和传输数据, 工作于 Internet 层的协议有: 网际协议 (IP)、地址解析协议 (ARP)、逆向解析协议 (RARP) 和 Internet 信报控制协议 (ICMP)	网络层
传输层	负责建立和维护两台计算机之间端到端的通信, 进行接收确认、流量控制和序列数据包。它还处理数据包的重新传输。传输层可根据传输要求使用 TCP 或 UDP。TCP 是基于连接的协议, UDP 是一种无连接协议, UDP 与 TCP 使用不同的端口, 它们可使用相同的号码而不会发生冲突	传输层
应用层	应用层将应用程序连接到网络中。两种应用程序编程接口 (API) 提供对 TCP/IP 传输协议的访问: WinSock 和 NetBIOS	会话层、表示层和应用层

## (2) TCP/IP 协议的特点

1) 开放式协议标准。可免费使用, 且与具体的计算机硬件或操作系统无关。由于它受到如此广泛的支持, 因而即使不通过 Internet 通信, 利用 TCP/IP 来统一不同的硬件和软件也是很理想的。

2) 与物理网络硬件无关。这就允许 TCP/IP 可以将很多不同类型的网络集成在一起, 它可以适用于以太网、令牌环网、拨号线、X.25 网络。

3) 通用的寻址方案。该方案允许任何 TCP/IP 设备唯一地寻址整个网络中的任何其他设备, 该网络甚至可以像全球 Internet 那样大。

4) 各种标准化的高级协议。可广泛而持续地提供多种用户服务。

## (3) Internet 协议 (IP)

IP 的主要目的是为高层协议提供无连接的传递服务。这意味着在 IP 将数据包递交给接收站点以前不在传输站点和接收站点之间建立对话 (虚拟链路)。它只是封装和传递数据包。但它不对发送者或接收者报告数据包的状态, 不处理所遇到的故障。这意味着如果数据链路故障或遭遇可恢复的错误时, IP 不予通知和处理。它将报文和错误一起传出去, 由高层协议 (TCP) 负责消除差错。换句话说, TCP 可能反复传输和发送数据。

提供消除差错的过程是高层协议 (第 4 层以上) 的责任。IP 是网络传递系统的一部分。它接受并格式化数据, 以便传输到数据链路层。此外 IP 还检索来自数据链路的数据, 并将它送给请求的高层。IP 传送的信息单元被称为“数据报文”, 这种数据报文被组装成为数据包, 可经过高速网络传送。

1) IP 协议不在意包内的数据类型, 它所知道的一切是必须将某些称为 IP 帧头的控制信息加到高层协议 (一般是 TCP 或 UDP) 所接收的数据上, 并试图把它传递给网络或网际上的某些站点。

2) IP 规定数据包如何从一个子网被路由选择到另一个子网。系统中的每个节点具有唯一的 IP 地址。路由选择表列出了子网上各种不同节点之间的通路和通路开销, 如果个别的节点之间有较多的通路, 则可选择最经济的一条。如果数据包过大, 使目的地不能接受, 则将它分割成较小的段。当从 LAN 向 WAN 传输数据时, 包的分段是特别重要的。例如 Token-Ring LAN 能支持 4500 字节的包, 而 X.25 分组网通常只支持 128 字节的包, 因此必须进行分段。

3) IP 协议作为通信子网的最高层, 提供无连接的数据报传输机制。IP 协议是点到点的, 核心问题是寻径。它向上层提供统一的 IP 数据报, 使得各种物理帧的差异性对上层协议不复存在。

互联网协议 IP 是 TCP/IP 体系中两个最重要的协议之一。与 IP 协议配套使用的还有三个协议:

地址转换协议 ARP (Address Resolution Protocol); 反向地址转换协议 RARP (Reverse Address Resolution Protocol); Internet 控制报文协议 ICMP (Internet Control Message Protocol)。

## (4) IP 地址

在 TCP/IP 中, IP 地址是一个很重要的概念。

我们把 Internet 看成为一个网络, 所谓 IP 地址就是给每一个连接在 Internet 上的主机分配一个唯一的 32bit 地址。IP 地址的结构使我们可以很方便地进行寻址, 这就是: 先按 IP 地址中的网络号码 (net-id) 把网络找到,

再按主机号码 (host-id) 把主机找到。所以 IP 地址并不只是一个计算机的号码, 而是指出了连接到某个网络上的某个计算机。

为了便于对 IP 地址进行管理, 同时还考虑到网络的差异很大, 有的网络拥有很多的主机, 而有的网络上的主机则很少。因此 Internet 的 IP 地址就分成为五类, 即 A 类到 E 类 (见图 11.5-7)。这样, IP 地址由三个字段组成, 即: 类别字段 (又称为类别比特), 用来区分 IP 地址的类型、网络号码字段 (net-id)、主机号码字段 (host-id)。

D 类地址是一种组播地址, 主要是留给 Internet 体系结构委员会 IAB (Internet Architecture Board) 使用。E 类地址保留在今后使用。目前大量 IP 地址仅 A、B、C 类三种。

A 类 IP 地址的网络号码数不多。目前几乎没有多余的可供分配。现在能够申请到的 IP 地址只有 B 类和 C 类两种。当某个单位向 IAB 申请到 IP 地址时, 实际上只是拿到了一个网络号码 (net-id)。具体的各个主机号码 (host-id) 则由该单位自行分配, 只要做到在该单位管辖的范围内无重复的主机号码即可。

为了方便起见, 一般将 32bit 的 IP 地址中的每 8 个比特用它的等效十进制数字表示, 并且在这些数字之间加上一个点。例如, 有下面这样的 IP 地址:

10000000 00001011 00000011 00011111

这是一个 B 类 IP 地址, 可记为 128. 11. 3. 31, 这显然更方便得多。

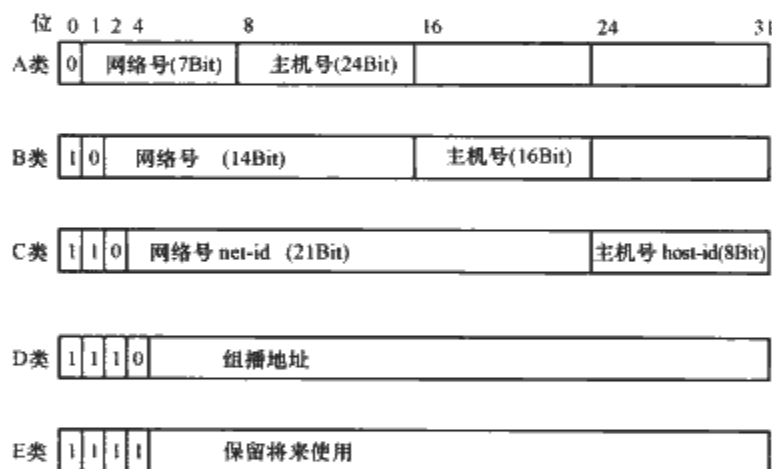


图 11.5-7 五类 IP 地址, 可分配的 IP 地址是 A、B、C 类

1) 在使用 IP 地址时, 还要知道下列地址是保留作为特殊用途的, 一般不使用。

①全 0 的网络号码, 这表示“本网络”或“我不知道号码的这个网络”。

②全 1 的网络号码。

③全 0 的主机号码, 这表示该 IP 地址就是网络的地址。

④全 1 的主机号码, 表示广播地址, 即对该网络上所有的主机进行广播。

⑤全 0 的 IP 地址, 即 0. 0. 0. 0。

⑥网络号码为 127. X. X. X, 这里 X. X. X 为任何数。这样的网络号码用作本地软件回送测试 (Loopback test) 之用。

⑦全 1 地址 255. 255. 255. 255, 这表示“向我的网络上的所有主机广播”。原先是使用 0. 0. 0. 0。

这样, 我们就可得出表 11.5-3 所示的 IP 地址的使用范围。

2) IP 地址有一些重要的特点。

①IP 地址有一些是一种非等级的地址结构。这就是说, 和电话号码的结构不一样, IP 地址不能反映任何有关主机

位置的地理信息。

表 11.5-3 IP 地址的使用范围

网络类别	最大网络数	第一个可用的网络号码	最后一个可用的网络号码	每个网络中的最大主机数
A	126	1	126	16 777 214
B	16 382	128. 1	191. 254	65 534
C	2 097 150	192. 0. 1	223. 255. 254	254

②一个主机同时连接到两个网络上时 (作路由器用的主机即为这种情况), 该主机就必须同时具有两个相应的 IP 地址, 其网络号码 (net-id) 是不同的, 这种主机成为多地址主机 (Multihomed Host)。

③按照 Internet 的观点, 用转发器或网桥连接起来的若干个局域网仍为一个网络, 因此这些局域网都具有同样的网络号码 (net-id)。

④在 IP 地址中, 所有分配到网络号码 (net-id) 的网络 (不管是小的局域网还是很大的广域网) 都是平等的。

虽然没有两个网络能分配同一个网络号, 同一网络上没有两台计算机分配同一个主机号, 但是一个主机号可在多个网络上使用。例如, 一个互联网包含三个网络, 它们可分配网络号为 1~3, 从属于网络 1 的三台计算机可分配后缀为 1、3 和 5; 同时, 从属于网络 2 的三台计算机可分配后缀为 1、2 和 3。

3) IP 地址层次保证了两个重要性质:

①每台计算机分配一个唯一地址 (即一个地址从不分配给多台计算机)。

②虽然网络号分配必须全球一致, 但主机号可本地分配, 无须全球一致。

第一个性质得到保证是因为整个地址包括网络号和主机号, 使分配时保证唯一性。如果两台计算机从属于同一个物理网络, 它们的地址有不同的主机号。

IP 分类方案并不把 32 位地址空间划分为相同大小的类, 各类包含网络的数目并不相同。例如, 所有 IP 地址中有一半 (即首位为 0 的那些地址) 位于 A 类中。令人惊奇的是, A 类只能包含 128 个网络, 因为 A 类地址首位必须为 0 并且前缀占据一个 8 位组, 这样, 仅剩下 7 位用来标识 A 类网络, 但每一个 A 类网络中可容纳的计算机数目则多达 16 777 216 台 (这可真是巨大的网络)。因此, A 类 IP 地址分配给大的物理网络使用, C 类 IP 地址分配给小的物理网络使用, 而 B 类 IP 地址则分配给中等的物理网络使用。

(5) 地址的转换

上面讲的 IP 地址还不能直接用来进行通信, 这是因为:

1) IP 地址中的主机地址只是主机在网络层中的地址。若要将网络层中传送的数据报交给目的主机, 必须知道该主机的物理地址。因此必须在 IP 地址和主机的物理地址之间进行转换。

2) 用户平时不愿意使用难于记忆的主机号码, 而是愿意使用易于记忆的主机名字。因此也需要在主机名字和 IP 地址之间进行转换。

在 TCP/IP 体系中都有这两种转换的机制。

对于较小的网络, 可以使用 TCP/IP 体系提供的叫做 hosts 的文件来进行从主机名字到 IP 地址的转换。文件 hosts 上有许多主机名字到 IP 地址的映射, 供主机使用。

对于较大的网络, 则在网络中的几个地方放有域名系统

DNS (Domain Name System) 的名字服务器 (Nameserver), 上面分层次放有许多主机名字到 IP 地址转换的映射表。主叫主机中的名字转换软件 Resolver 自动找到 DNS 的 Nameserver 来完成这种转换。域名系统 DNS 属于应用层软件。

图 11.5-8 中设名字为 host-a 的主机要与名字为 host-b 的主机通信, 通过 DNS 从目的主机 host-b 得出其 IP 地址为 209.0.0.6。

IP 地址到物理地址的转换由地址转换协议 ARP 来完成。图 11.5-8 还表示出从 IP 地址 209.0.0.6 通过 ARP 得出了目的主机 48bit 的物理地址 08002B00EE0A (现在假设此主机连接在某个局域网。如网络是广域网, 则转换出主机在广域网上的物理地址)。

由于 IP 地址有 32bit, 而局域网的物理地址 (即 MAC 地址) 是 48bit, 因此它们之间不是一个简单的转换关系。此外, 在一个网络上可能经常会有新的计算机加入进来, 或撤走一些计算机。更换计算机的网卡也会使其物理地址改变。可见在计算机中应当存放一个从 IP 地址到物理地址的转换表, 并且能够经常动态更新。地址转换协议 ARP 很好地解决了这些问题。

每一个主机都有一个 ARP 高速缓存 (ARP cache), 里面有 IP 地址到物理地址的映射表, 这些都是该主机目前知道的一些地址。当主机 A 欲向本局域网上的主机 B 发送一个 IP 数据报时, 就先在其 ARP 高速缓存中查看有无主机 B 的 IP 地址。如果有, 就可查出其对应的物理地址, 然后将该数据报发往此物理地址。

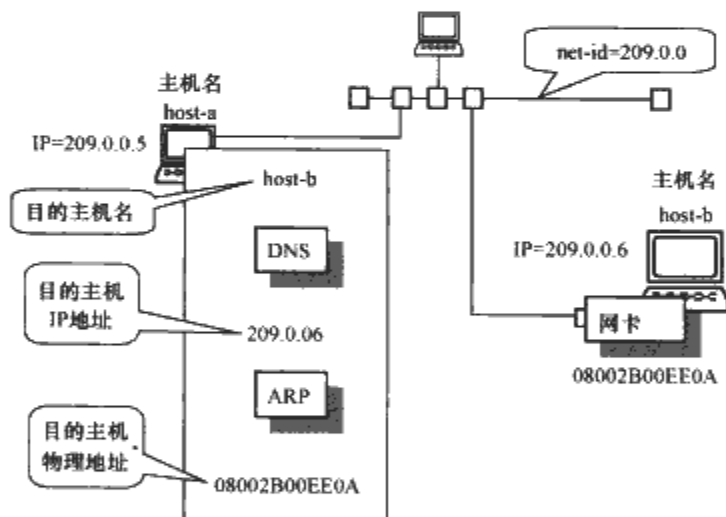


图 11.5-8 主机名字、主机物理地址与 IP 地址的转换

也有可能查不到主机 B 的 IP 地址的项目。这可能是主机 B 才入网, 也可能是主机 A 刚刚开机, 其高速缓存还是空的。在这种情况下, 主机 A 就自动运行 ARP, 按以下步骤找出主机 B 的物理地址。

1) ARP 进程在本局域网广播发送一个 ARP 请求分组, 上面有主机 B 的 IP 地址。

2) 在本局域网上的所有主机上运行的 ARP 进程都收到此 ARP 请求分组。

3) 主机 B 在 ARP 请求分组中见到自己的 IP 地址, 就向主机 A 发送一个 ARP 响应分组, 上面写入自己的物理映射。

4) 主机 A 收到主机 B 的 ARP 响应分组后, 就在其 ARP 高速缓存中写入主机 B 的 IP 地址到物理地址的映射。

在很多情况下, 当主机 A 向主机 B 发送数据报时, 很可能以后不久主机 B 还要向主机 A 发送数据报, 因而主机 B 也可能要向主机 A 发送 ARP 请求分组。为了减少网络上的通信量, 主机 A 在发送其 ARP 请求分组时, 就将自己的 IP 地址到物理地址的映射写入 ARP 请求分组。当主机 B 收

到主机 A 的 ARP 请求分组时, 主机 B 就将主机 A 的这一地址映射写入主机 B 自己的 ARP 高速缓存中。这对主机 B 以后向主机 A 发送数据报时就更方便了。

在进行地址转换时, 有时还要用到反向地址转换协议 RARP。RARP 使只知道自己物理地址的主机能够知道其 IP 地址。这种主机往往是无盘工作站。这种无盘工作站一般只要运行其 ROM 中的文件传送代码, 就可用下行装载方法, 从局域网上其他主机得到所需的操作系统和 TCP/IP 通信软件, 但这些软件中并没有 IP 地址。无盘工作站要运行 ROM 中的 RARP 来获得其 IP 地址。RARP 的工作过程大致如下: 为了使 RARP 能工作, 在局域网上至少有一个主机要充当 RARP 服务器, 无盘工作站先向局域网发出 RARP 请求分组 (在格式上与 ARP 请求分组相似), 并在此分组中给出自己的物理地址。RARP 服务器有一个事先做好的从无盘工作站的物理地址到 IP 地址的映射表, 当收到 RARP 请求分组后, RARP 服务器就从这映射表查出该无盘工作站的 IP 地址。然后写入 RARP 响应分组, 发回给无盘工作站。无盘工作站用这样的方法获得自己的 IP 地址。

#### (6) 传输控制协议 (TCP)

TCP 是重要的传输层协议, 它的目的是完成数据在网络上的可靠传输。原始的 TCP/IP 主机是经过电话线连接的, 20 世纪 70 年代早期通信工具和当今的通信设备截然不同, 线路的噪声大, 因此, TCP 协议具有严格的内装差错检验算法, 以确保数据的完整性。

TCP 实现了看起来不太可能的一件事: 底层使用 IP 提供的不可靠的数据报服务, 但却为应用程序提供了一个可靠的数据传输服务。TCP 还必须解决互联网中的数据报丢失和延迟问题以提供有效的数据传输, 同时还不能让底层的网络和路由器过载。

可靠性是传输协议的责任, 应用程序发送和接收数据时就要和传输协议打交道。在 TCP/IP 协议栈中, 传输控制协议 TCP 提供可靠的传输服务。TCP 的出名是因为很好地解决了可靠传输这个难题, 尽管其他协议早已出现, 但没有哪个通用的传输协议比 TCP 工作得更好。因此, 大部分互联网应用都建立在 TCP 的基础之上。

从应用程序的角度来看, TCP 提供的服务有以下七个主要特征:

1) 面向连接: TCP 提供的是面向连接的服务, 一个应用程序必须首先请求一个到目的地的连接, 然后使用这一连接来传输数据。

2) 点对点通信: 每一个 TCP 连接有两个端点。

3) 完全可靠性: TCP 确保通过一个连接发送的数据按发送时一样正确地传递, 且不会发生数据丢失或乱序。

4) 全双工通信: 一个 TCP 连接允许数据在任何方向流动, 并允许任何一个应用程序在任何时刻发送数据, TCP 能够在两个方向上缓冲输入和输出的数据, 这就使得一个应用程序在发送数据后, 可以在数据传输的时候继续自己的工作。

5) 流接口: TCP 提供流接口, 一个应用程序利用它可以发送一个连续的字节流穿过连接。也就是说, TCP 并不提供记录式的表达法, 也不确保数据传递到接收端应用程序时会与发送端应用程序有同样尺寸的段。

6) 可靠的连接建立: TCP 要求当两个应用程序创建一个连接时, 两端必须遵从新的连接, 前一次连接所用的重复的包是非法的, 也不会影响新的连接。

7) 完美的连接终止: 一个应用程序能打开一个连接,

发送任意数量的数据,然后请求终止连接,TCP 确保在关闭连接之前传递的所有数据的可靠性。

概括地说,TCP 提供一个完全可靠的(没有数据重复或丢失)、面向连接的、全双工的流传输服务,允许两个应用程序建立一个连接,并在任何一个方向上发送数据,然后终止连接。每一 TCP 连接可靠地建立,完美地终止,在终止发生前的所有数据都会被可靠地传递。

TCP 是怎样实现可靠性的呢?答案挺复杂,因为 TCP 使用各种不同的技术来处理这一问题的各个部分,其中最重要的技术叫重发。当 TCP 发送数据时,发送方通过一种重发方案来补偿包的丢失,且通信的双方都要参与。当接收方 TCP 收到数据时,它要回发给发送方一个确认。当发送方发送数据时,TCP 就启动一个定时器,在定时器到点之前,如果没有收到一个确认,则发送方重发数据。

TCP 的重发方案是它获得成功的关键,因为它处理了一个任意互联网上的通信以及允许多个应用程序并发地进行通信。例如,一个应用能够通过卫星频道向另一个国家的某台计算机发送数据。与此同时,另一个应用正通过局域网向隔壁房间的某台计算机发送数据。TCP 必须准备为任何一个连接中出现的丢失消息进行重发。问题是:TCP 在重发之前应该等待多长时间?在同一个局域网上的某台计算机发回的确认在几个毫秒内就能到达,若为这种确认等待得久则使网络处于空闲而无法使吞吐率达到最高。因而,在一个局域网中 TCP 不应该在重发之前等待过久。然而,对一个长距离的卫星连接来说,几毫秒的重发等待时间则太短了。同时 TCP 还面对着另一个问题:数据报的突发可能导致网络阻塞,而网络阻塞又会导致传输的延迟大大增加。因此,TCP 必须处理各种可能迅速变化的延迟。

### 3 局域网介质访问方式

如果同一介质中连接了多个站,而 LAN 中的所有站又都是对等的,任何一个站都可以和其他站通信,就需要有一种必要的仲裁方式来控制各站对网络的访问。介质访问方式是确保对网络中结点进行有序访问的一种方法。下面介绍局域网中两种主要的介质访问方式,竞争方式和令牌方式。

#### 3.1 竞争方式

在竞争方式中,允许多个站对单个通信信道进行访问,每个站之间互相竞争信道的控制使用权,并据此传送数据,两种主要的竞争方式是 CSMA/CD 和 CSMA/CA。它们通常用于总线或树形拓扑结构中。

##### (1) CSMA/CD 方式

在 CSMA/CD 方式中,发送站检测通信信道中的载波信号。如果检测到载波信号,就说明没有其他站在传送数据,或者说其他信道上没有数据,这时可以放松数据。当数据信号在电缆中传送时,每个站检查数据帧中的地址字段,并依此判定是接收该帧还是忽略该帧。当信号在 LAN 的整个范围传送时,所有的站都有接收信息的机会。

由于数据帧在 LAN 中的传输需要时间,某些位置靠后的站就可能监听不到任何消息,而此时信道中又确实有信号传送。这时发送数据就可能引起信号在信道中“碰撞”,或者说发生冲突而引起数据丢失。为了避免冲突就要使用冲突检测(Collision Detection),每个发送站在发送数据后,同时监听自己的信号,如果该信号出现错误,发送站再发送一个干扰信号。听到这一干扰信号后,发送站停止一段时间再发送,这一时间由网卡中的一个算法来决定。

这种系统的优势在于,站结点无需依靠中心控制就能进行发送,当网络通信量较小时,冲突也就较少发生。因此 CSMA/CD 方式是快速而有效的。而网络负载较重时,就容易出现冲突,网络性能也就相应降低,最常见的 CSMA/CD 系统是以太网(Ethernet)及 IEEE 802.3 标准。

##### (2) CSMA/CA 方式

另一种竞争访问方式 CSMA/CA 依靠算法来避免冲突。Apple 公司的 Apple Talk 就是冲突避免系统的一个例子。在 CSMA/CA 中,发送站和接收站在数据传输之前使用“握手”机制。监听到“握手”信号后,网络中的其他站进入等待状态,这一系统防止了大多数冲突,如果在“握手”时出现冲突,也只会浪费相对较少的时间。

CSMA/CD 和 CSMA/CA 所具有的最重要的特点是:它们不是固定不变的。由于 LAN 中各站之间的竞争完全平等,因此并不能预先决定站点对网络的访问次序。站点访问网络的等待时间只能由统计得出。

#### 3.2 令牌传送方式

在令牌传送系统中,令牌在网络中沿各站依次传递。令牌是一个有特殊目的信息段,它的作用是允许站点进行数据发送。一个站点只有在持有令牌时才能发送数据。

令牌传送常用于环形拓扑中,如 IBM 的 Token Ring ARCnet 等。其优点在于网络中的站点依次收到令牌,并依次发送数据。这样的系统就称为固定的,从而可以计算出最坏情况下的访问时间、吞吐量等。在工业生产控制中经常使用类似的固定系统。令牌传送还允许建立优先级控制,从而保证较重要的信息能够首先被发送。

采用令牌传送方式的网络常用于负载较重、通信量较大的网络中。在一般情况下,这一类网络不会出现冲突问题。

采用令牌传送方式的网络可能带来一些问题,例如,令牌可能损坏或丢失,以致所有的站点都在等待并不存在的令牌。相反地,网络中也有可能出现两个或多个令牌,导致站点在错误的时间发送数据。而上述问题往往是源自硬件的错误,尤其是网卡。

为了防止上述错误的出现,每个网络必须具有错误检测能力、恢复机制等。而且,网络中的某个站被设计为专用的监视器,检查重复或丢失的令牌。为了防止监视器本身的故障,可以设置一个或几个备用监视器。

令牌传送结构包括 ARCnet、IEEE 802.4、IEEE 802.5 等。

概括地讲,竞争方式和令牌传送方式在局域网的访问方法中都占有一定的地位。在较轻的负载下,竞争方式提供较好的性能,并使用简单、便宜的网卡,而且不必为等待令牌而耗费时间。令牌传动系统则在负载较重时性能较好,而且每个站对网络的访问具有一个最大的时间间隔。

### 4 局域网技术

已经出现的计算机局域网类型有以太网(Ethernet)、令牌环网(Token Ring)、FDDI 光纤网、快速以太网(Fast Ethernet)、ATM 网、千兆位以太网、万兆位以太网、无线局域网等。

#### 4.1 以太网

以太网这一术语常用来指所有与以太网规范一致的“载波侦听多路复用/冲突检测”(CSMA/CD)的局域网。以太网是以 IEEE 802.3 规范技术为技术基础,是当今局域网所使用的主要技术。



以太网是一种媒介共享型网络，采用了 CSMA/CD 技术。网络中的站点可在任何时间访问网络。在发送数据前，站点首先对网络进行侦听，以判明网络是否被占用，如果网络被占用，该站点就必须等待。当网络不被占用时，站点就可以在网络上传输数据。可能产生这样的情况：当两个站点在侦听网络数据流时，均未发现网络被占用，这时同时发送数据。于是就发生了冲突。这种时候，两个站点的数据传输均遭到破坏，必须进行重传。

以太网是广播型的网络。也就是说，所有的站点均可以看到所有的帧，而不管它的目的地到底在哪里。对于接受到的帧，每个站点都必须进行检查，以判明本站点是不是该帧的目的地。如果是，该帧将被送至高层协议作进一步的处理。

4.2 快速以太网

10Mbit/s 的传统以太网技术已经不能满足需要，于是出现了 100Mbit/s 的快速以太网技术。目前，快速以太网技术有两种相互竞争的标准：100BASE-T 与 100VG-AnyLAN。

- (1) 100BASE-T 快速以太网
- 100BASE-T 快速以太网直接由 10BASE-T 以太网标准发展而来。它具有以下特点：
- 1) 同 10BASE-T 一样，采用了 IEEE 802.3 CSMA/CD 的 MAC 协议层，并具有同样的帧格式、拓扑结构。但 100BASE-T 具有独特的物理层结构，以支持 100Mbit/s 的数据传输率。
  - 2) 保留了用户现有的电缆设施、模块式集线器、网桥、路由器。
  - 3) 保留了 10BASE-T 在集线器和桌面机间使用 100m 长电缆的星形拓扑结构，并规定了 100BASE-T 支持 270m 长的光纤电缆。
  - 4) 采用流行的 SNMP 的网络管理软件和以太网管理信息库，完全兼容现有的网管产品。
  - 5) 标准成熟，代价较低。

- (2) 100VG-AnyLAN
- 100VG-AnyLAN 网络技术由 HP 公司和 IBM 公司联合倡导。该技术具有以下特点：
- 1) 不采用传统的以太网冲突协议，而采用请求优先技术，故没有冲突和延迟，对于对时延敏感的应用（如多媒体、电视会议、无时延数据包发送等）很有效。
  - 2) 支持 802.3 标准和 802.1 标准的拓扑帧格式。
  - 3) 支持 4 对 3 类、4 类或 5 类的 UTP、STP 及光纤。

以下简单描述一下 100VG 的“请求优先”技术。

“请求优先”技术需要 100Mbit/s 的多端口中继器来运行网络，两个终端站不能直接互联，中继器内有一个智能设备用于查询每个端口，判断与之连接的站是否有数据要发送。若该站待用，则查询下一个站。如果某站要发送数据，而它刚刚被查询过了，则可以与查询机构相联系，向它提出发送请求，以便得到服务，而不必等待下一轮的查询。

IEEE 802.x 主要标准见表 11.5-4。

表 11.5-4 IEEE 802.x 主要标准

规范	描述
802.1	与网络管理相关的网络标准
802.2	定义用于数据链路层的一般标准。IEEE 将该层分为两个子层：LLC 和 MAC 层，MAC 层随不同的网络类型而变化，它由 IEEE 802.3、802.4、802.5 分别定义

续表

规范	描述
802.3	定义使用带冲突检测的载波侦听多路访问的总线型网络的 MAC 层，这是一种传统的以太网标准，在 802.3 标准的基础上，近年又扩展出快速以太网和千兆位以太网标准： (1) 802.3u：快速以太网标准，作为 100Base-T4（4 对 3、4 或 5 类 UTP）、100BaseTX（2 对 5 类 UTP 或 STP）和 100BaseFX（2 股光缆）以太网的规范 (2) 802.3ab：千兆位以太网标准，作为 1000Base-T（4 对 5 类 UTP）以太网的规范 (3) 802.3z：千兆位以太网标准，作为 1000Base-LX（50μm 或 62.5μm 多模光缆或 9μm 单模光缆）、1000Base-SX（50μm 或 62.5μm 多模光缆）以太网的规范 (4) 802.3ae：万兆以太网标准，作为 10GBase-S、10GBase-L、10GBase-E、10GBase-LX4 的规范 (5) 802.3ak：万兆以太网标准，作为 10GBase-CX4 以太网的规范
802.4	定义使用令牌传送机制（令牌总线局域网）的总线型网络的 MAC 层
802.4	定义使用令牌环网络（令牌环局域网）的 MAC 层
802.9	定义集成语音/数据网络
802.10	定义网络安全性
802.11	定义无线网络标准
802.12	定义需求优先级访问局域网 100BaseVG-AnyLAN
802.15	定义无线个人区域网（WPAN）
802.16	定义宽带无线标准

4.3 ATM 网络

4.3.1 ATM 技术

异步传输模式 ATM（Asynchronous Transfer Mode）是国际电信联盟 ITU-T 制定的标准，实际上在 20 世纪 80 年代中期，人们就已经开始进行快速分组交换的实验，建立了多种命名不相同的模型，欧洲重在图像通信，把相应的技术称为异步时分复用（ATD），美国重在高速数据通信，把相应的技术称为快速分组交换（FPS），国际电信联盟经过协调研究，于 1988 年正式命名为 Asynchronous Transfer Mode（ATM）技术，推荐其为宽带综合业务数据网 B-ISDN 的信息传输模式。

ATM 是一种传输模式，在这一模式中，信息被组织成信元，因包含来自用户信息的各个信元不需要周期性出现，所以这种传输模式是异步的。

ATM 信元是固定长度的分组，共有 53 个字节，分为 2 个部分，前面 5 个字节为信头，主要完成寻址的功能；后面的 48 个字节为信息段，用来装载来自不同用户、不同业务的信息。话音、数据、图像等所有的数字信息都要经过切割，封装成统一格式的信元在网中传递，并在接收端恢复成所需格式。由于 ATM 技术简化了交换过程，去除了不必要的数据校验，采用易于处理的固定信元格式，所以 ATM 交换速率大大高于传统的数据网，如 x.25、DDN、帧中继等。另外，对于如此高速的数据网，ATM 网络采用了一些有效的业务流量监控机制，对网上用户数据进行实时监控，把网络拥塞发生的可能性降到最小。对不同业务赋予不同的“特权”，如语音的实时性特权最高，一般数据文件传输的正确性特权最低，网络对不同业务分配不同的网络资源，这样不同的业务在网络中才能做到“和平共处”。

4.3.2 ATM 网络应用

异步传输模式（ATM）的初衷是为广域网宽带业务而

设计的,是想要取代公用电话交换网,由于这项工作花费的时间较长,所以人们将注意力逐步转向利用 ATM 技术将现存的局域网互联起来。其间存在的主要问题是 ATM 是面向连接的,而局域网则是面向无连接的。因此,如何使 ATM 与现存的局域网实现无缝连接,就成了实现 ATM 局域网的一个关键技术问题。

#### (1) ATM 网络的应用

1) 作为 ATM 广域网的网关: ATM 交换机的作用与路由器和通信集中器的作用类似,它可将局域网连接到 ATM 广域网。

2) 主干 ATM 交换机:它可用于局域网络的互联。

3) 工作组 ATM:它可将高性能多媒体工作站、超级用户等站点直接连接到 ATM 交换机。

为了使多种传统局域网应用能方便地移植到 ATM 环境中,ATM 论坛提出了局域网仿真技术方案,该方案又叫做 MAC over ATM,即在 ATM 网上仿真局域网,提供与传统局域网的网桥连接。局域网仿真服务可包括以下 3 种形式:

- 1) ATM-ATM 网间连接。
- 2) ATM-LAN 网间连接。
- 3) LAN-LAN 网间连接。

传统局域网可通过 ATM 网互联;局域网可与 ATM 主机(插有 ATM 网卡)通信;ATM 主机上可运行现有的网络软件。传统局域网可通过 LAN/ATM 转化设备(负责地址及帧格式转换,并装有局域网仿真软件)与 LAN 网络相连接。该局域网仿真软件运行在数据链路层,完成类似网桥的功能,它能支持多种上层协议(IP、IPX、NETBIOS 等),并应同时安装在 ATM 主机上,ATM 主机上的 IP/IPX 与局域网仿真间的接口可为开放数据链路接口 ODI 或网络驱动接口规范 NDIS,这同传统局域网用户的 IP/IPX 与 MAC 子层间的接口一样。因此,从 IP/IPX 向下看,ATM 主机与传统局域网客户机的运作行为是完全一样的。

#### (2) ATM 局域网的特征

- 1) 较适于实时多媒体应用环境,能较好地与 B-ISDN 融合。
- 2) 可支持一定的服务级别(COS)及服务质量(QoS)保证。
- 3) 较适于作为大型 Internet、城域网及高速宽带网的主干网。

### 4.4 千兆位以太网

#### 4.4.1 体系结构

千兆位以太网的体系结构如图 11.5-9 所示。它与 IEEE802.3 标准所描述的体系结构类似,其中主要包括 MAC 子层和 PHY 层。

MAC 子层主要实现 CSMA/CD 访问协议及全双工/半

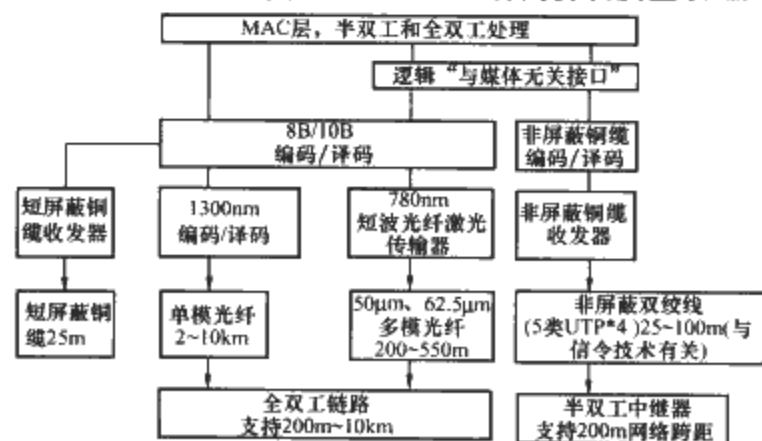


图 11.5-9 千兆以太网体系结构

双工处理方式;定义千兆位以太网的帧格式(与 IEEE802.3 相同)。

PHY 层采用两种较成熟的技术:一种来自以太网,另一种则是基于 ANSI 制定的光线通道规范。千兆位以太网的 PHY 层中包括了收发器传输及媒体编码/译码 3 个主要模块,还包括了 MAC 子层与 PHY 层连接的逻辑“与媒体无关接口”。

1) 收发器模块包括长波光纤激光传输器、短波光纤激光传输器、短屏蔽铜缆以及非屏蔽铜缆收发器四种类型。

2) 不同类型的收发器模块分别对应于所驱动的传输媒体,传输媒体包括单模和多模光纤以及屏蔽和非屏蔽铜缆。对于光纤媒体的 1Gbit/s 以太网支持半双工链路外,还支持全双工链路;而铜缆媒体只支持半双工链路。

3) 对应不同类型的收发器模块,802.3z 标准还规定了两类编码/译码器:8B/10B 和专门用于 5 类 UTP 的编码/译码方案。

#### 4.4.2 千兆位以太网的分类

千兆位以太网 PHY 层包括了诸多的功能模块,其中含有两类编码/译码方案,3 种收发器方案,3 类传输介质,支持全双工或半双工通信等功能。综合各种 PHY 层功能,可把它们归纳成两种实现技术,即 1000BASE-X 和 1000BASE-T。这样,千兆位以太网的分类可如图 11.5-10 所示,在同一个 MAC 子层下面的 PHY 中包括了 1000BASE-X 和 1000BASE-T 两种技术,而 1000BASE-X 中又包括了 1000BASE-LX、1000BASE-SX 以及 1000BASE-CX,它们分别对应着相应的编码/译码技术、收发器和传输介质。1000BASE-T 的物理层功能与 1000BASE-X 差别较大,有其相应的编码/译码技术、收发器及传输介质。

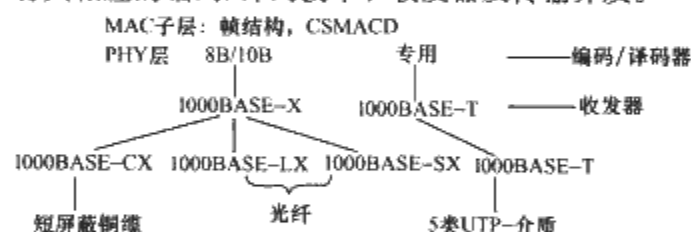


图 11.5-10 千兆位以太网的分类

#### (1) 1000BASE-X

1000BASE-X 是千兆位以太网技术中较容易实现的一类方案,它虽然包括了 1000BASE-CX、LX 和 SX,但其 PHY 层中的编码/译码方案是共同的,即均采用 8B/10B 编码/译码方案。对于收发器部分三者差别较大,其原因在于所对应的传输介质上所采用的信号源方案不一致而导致不同的收发器方案。

1000BASE-X 采用基于光纤通道的物理层,即 FC-0 和 FC-1。按采用的介质不同,它可分为以下 3 种形式:

1) 1000BASE-CX。1000BASE-CX 是使用铜缆的两种千兆位以太网技术之一,另一种是 1000BASE-T。1000BASE-CX 的媒体是一种短距离屏蔽铜缆,最长距离达 25m,这种屏蔽电缆不是符合 ISO 11801 标准的 STP,而是一种特殊规格高质量平衡双绞线对的 TW 型屏蔽铜缆。

1000BASE-CX 的短距离铜缆适用于交换机间的短距离连接,特别适用于千兆主干交换机与服务器的短距离连接,这种连接往往就在机房的配线架柜上以跨线方式连接即可,不必使用长距离的铜缆或光纤。

2) 1000BASE-LX。1000BASE-LX 是一种收发器上使用长波光 (LWL) 作为信号源的媒体技术,这种收发器上配置了激光波长为 1270~1355nm (一般为 1300nm) 的光



纤激光传输器,它可以驱动多模光纤,也可驱动单模光纤,使用的光纤规格如下:

- ① 62.5 $\mu\text{m}$ 的多模光纤。
- ② 50 $\mu\text{m}$ 的多模光纤。
- ③ 9 $\mu\text{m}$ 的单模光纤。

对于多模光纤,在全双工模式下最长距离可达 550m;对于单模光纤,全双工模式下最长距离达 5km。连接光纤所使用的光纤连接器与 100BASE 快速以太网中 100BASE-FX 使用的型号相同。

3) 1000BASE-SX: 1000BASE-SX 是一种在收发器上使用短波激光(SWL)作为信号源的媒体技术,这种收发器上配置了激光波长为 770~860nm(一般为 800nm)的光纤激光传输器,仅支持两种多模光纤: 62.5 $\mu\text{m}$ 和 50 $\mu\text{m}$ 的多模光纤。

对于 62.5 $\mu\text{m}$ 的多模光纤,全双工模式下最长距离为 275m;对于 50 $\mu\text{m}$ 的多模光纤,全双工模式下最长距离为 550m。连接光纤所使用的连接器与 1000BASE-LX 一样,均采用 SC 连接器。

#### (2) 1000BASE-T

1000BASE-T 是一种使用 4 对 5 类 UTP 的千兆位以太网技术,其传输距离为 25~100m。这种技术有利于 100BASE-TX 等网络的升级,布线系统保持不变,数据传输速率可提高 10 倍。1000BASE-T 等网络采用了新的编码/译码方案(未采用 1000BASE-X 使用的 8B/10B)和信号驱动技术。

### 4.5 万兆位以太网

万兆位以太网可组构成局域网,也可组构成城域网或广域网。它采用光纤作为传输介质,以全双工方式工作,无需采用 CSMA/CD 访问协议。

万兆位局域网支持 IEEE802.3MAC 全双工方式,允许以太网复用设备同时携带 10 路 1Gbit/s 信号,其帧格式与以太网的帧格式一致。万兆位局域网允许现有以太网平滑升级,并与 10M/100M/1000Mbit/s 以太网兼容,可使局域网的覆盖距离达到 40km。

万兆位城域网或广域网物理层采用同步光纤网(SO-NET) OC—192 帧格式在线路上传输,数据传输速率为 9.584 64Gbit/s,其 MAC 层有速率匹配功能。当传输介质采用单模光纤时,传输距离可达 300km;采用多模光纤时,传输距离可达 40km。

万兆位以太网为了与以前的以太网兼容,必须采用以太网的帧格式承载业务,为了达到 10Gbit/s 的数据传输速率,并实现与主干网无缝连接,在线路上采用 OC—192 帧格式传输。这样就需要在物理层实现从以太网帧到 OC—192 帧的映射功能。同时,由于以太网的设计是面向局域网的,网络管理能力较弱,传输距离短,且对物理线路没有任何保护措施,因此,当以太网作为广域网进行长距离高速传输时,会导致线路信号频率和相位产生较大的抖动。以太网的传输是异步的,在信宿端实现同步比较困难。因此,如果以太网帧在广域网中传输,则需要对以太网帧格式进行修改。添加了长度字段和头部差错控制(HEC)字段。

在局域网与广域网的速率适配方面,10Gbit/s 局域网和广域网物理层的速率不同,局域网的数据率为 10Gbit/s,广域网的数据率为 9.584 64Gbit/s。由于两种速率的物理层共用一个 MAC 层,而 MAC 层的工作速率为 10Gbit/s,所以必须采取相应的调整策略将 10Gbit/s 介质的

无关接口(XGMII)的传输速率降低,使之与物理层的传输速率 9.584 64Gbit/s 匹配,这是万兆位以太网需要解决的问题。

### 4.6 交换式局域网及三层交换技术

计算机技术的进步拉动了需求的不断增长,推动着局域网技术的发展。随着计算机性能的提高和网络应用的大量涌现,局域网的通信量一直呈现快速增长的趋势。传统局域网已经不堪重负,局域网交换技术应运而生。

交换式局域网的出现,大大提高了网络的性能。在不需对原有共享通信介质局域网的硬件或软件进行改变的情况下,容易将共享式网络转换为交换式网络。网络交换机的引入显著地增加了用户的带宽,使得交换机端口连接的节点计算机能够并行、安全地互相传输信息。

#### 4.6.1 交换式局域网的特点和工作原理

局域网交换技术源自两端口网桥。网桥是一种存储转发设备,用来桥接类似的局域网。从 OSI 来看,网桥工作在第 2 层,即在逻辑链路层对数据帧进行存储转发。两端口网桥是和以太网同步发展起来的。

目前被普遍使用的局域网交换设备是以太网交换机(Switch),也有人称其为交换式集线器。以太网交换机可以看作是一种改进了的多端口网桥,除了提供存储转发(Store-and-forward)功能外还提供了直通(Cut Through)方式等其他桥接技术。与传统的网桥相比,以太网交换机提供的端口更多、性能更好、管理功能更强,以及价格更便宜。

以太网交换机是这样工作的:首先检测节点计算机送至端口的数据帧中的源和目的 MAC 地址,然后与交换机内部动态维护的 MAC 地址对照表进行比较,将数据发送至与目的地址对应的目的端口,将新发现的 MAC 地址及其端口的对应关系记录到地址对照表中。

使用局域网交换机,可以实现高速与低速网络间的转换和不同网络的协同。许多以太网交换机提供 10Mbit/s 和 100Mbit/s 的自适应端口,使得配备不同网络通信速率网卡的计算机可以在同一个网络中协同工作。局域网交换机还能够同时提供多个通道,比传统的共享式集线器提供更多的带宽。传统的共享式以太网使用广播模式工作,每次只能在一对入网计算机间进行通信,如果发生通信碰撞还得重试。交换式以太网允许不同入网计算机间同时进行传送,如一个 24 端口的以太网交换机最多允许 24 个节点计算机在 12 条链路间同时通信,且每个节点的计算机可以独享所连接交换机端口提供的全部带宽。

以太网交换机使用直通方式工作时,其工作机制类似线路矩阵式电话交换机,各交换机端口间可以看作是纵横交叉连接的,在输入端口检测到计算机发送的数据时,通过检查数据帧首部获取目的节点 MAC 地址,查表得到该地址的对应输出端口后,将输入输出端口线路接通,把数据直通到输出端口。采用直通式工作的优点是通信延迟小,交换速度快;缺点是由于没有缓存,不能直接连通具有不同速率的输入输出端口,交换机上不同通信速率的节点计算机无法协同共组,另外,交换时不经过存储还使得转发的数据内容没有保存,无法检查所传送的数据是否有误,不能提供错误检测能力。

当以太网交换机使用存储转发方式工作时,首先将在输入端口检测到的数据帧存储起来,然后进行校验码检测,确定数据传输无误时才取出数据帧首部的目的节点 MAC 地址,

通过查表将数据送往输出端口。以太网交换机采用存储转发方式工作的缺点是数据处理延迟大,但是对进入交换机的数据有错误检测能力,通过缓存数据可以支持不同速率输入输出端口间的数据交换,允许不同通信速率的节点计算机在网中协同工作,因此被广泛使用。

#### 4.6.2 二、三层交换技术

“路由”和“交换”是计算机网络中两个重要的概念。传统的“交换”发生在 OSI 参考模型的第二层,即数据链路层,而“路由”则发生在第三层,即网络层。

在以太网中,一种导致网路降低运行速度的原因是“广播”。广播存在于所有的网络上,如果不对它们进行适当的控制,它们便会充斥于整个网路上,产生大量无用的网路通信,从而造成网路堵塞。工作在 OSI 参考模型第二层的传统以太网交换机,将对所有广播信息进行转发,无法有效抑制广播。所以,为了对广播进行有效的控制,就必须使用路由器。但是路由器主要用于网际之间,在局域网内部应用在相当大程度上是一种浪费,因为路由器的主要优点不在于“抑制广播”,而在于在复杂的网络环境中进行“路由”。所以在实际应用中,在局域网中利用路由器来抑制广播还是比较少见。在新型的局域网中,“路由”的智能技术和“交换”的快速数据交换性能被有机地结合起来,三层交换机已经被大型网络中普遍使用。三层交换机的核心技术就是“三层交换技术”,它是目前较新的一种数据交换技术,同样可以在局域网中起到“抑制广播”的作用,而其中一个重要技术特性就是提供了对 VLAN (Virtual LAN) 技术的支持。VLAN 技术不仅可以把同一局域网用户划分成不同的功能网段,同时还在必要时可实现不同网段的互联互通,在一定程度上起到“路由”的功能。现在,越来越多的 LAN 被分成工作组,通过主干线将它们连接到 VLAN 上。VLAN 在逻辑上将物理的 LAN 分成不同的子网(对以太网来说是广播域),因而广播帧只是在同一 VLAN 的端口之间进行交换,有效地抑制了广播帧所带来的负面影响。

总的来说,三层交换技术就是一种将“路由”与“交换”有机结合的技术。

#### 4.7 虚拟局域网 (VLAN) 技术

局域网交换技术的发展,允许地理位置分散的用户计算机在逻辑上组成一个独立的网络,且该网络的成员在改变其物理地址时不需要对入网计算机进行重新配置,这就是虚拟局域网 (Virtual LAN) 技术。

1) VLAN 是指网络主干设备具有“虚拟”配置网络的能力,而不需要重新修改实际的网络拓扑结构。在没有 VLAN 功能的局域网中,当用户的入网计算机从一个逻辑上独立的局域网变更到另一个逻辑上独立的局域网时,或者接入网络的物理位置发生变化时,网络管理员通常采取的措施是改变网络的物理配置。VLAN 技术的引入使得网络管理员可以将网络的逻辑管理与物理管理分开。当网络用户之间的连接与通信关系改变后,网络管理员只需要通过相应软件,对具备 VLAN 功能的交换机进行简单的操作,就可以完成所需要的变更。网络管理员甚至可以配置具备 VLAN 功能的交换机自动适应用户的变化而无需人为干预。VLAN 技术的引入,大大减轻了网络管理员的日常工作负担。

2) VLAN 技术还使得网络管理员可以在同一个物理网络中,根据不同用户的工作需要,按照用户计算机入网的物理端口建立不同的 VLAN。一个物理端口可以隶属于多个 VLAN。VLAN 的每个端口可以和该网的其他端口通信。

但是未经具备 VLAN 功能的第三层交换机的专门配置,不同 VLAN 的端口间不能够通信。使用 VLAN 可以减少来自其他网段不必要的通信量,实现网络安全保密和故障隔离的作用。VLAN 技术通过逻辑分配的方式形成虚拟的广播子网,打破了传统局域网中广播子网与物理子网一致性的限制。VLAN 的建立是通过网络管理软件完成的,具有快速、灵活、方便和高效的特点。

#### 4.8 无线局域网

无线局域网是计算机网络与无线通信技术相结合的产物,它利用无线多址信道支持计算机之间的通信,为计算机在移动中通信提供了可能,是不通过传统网络传输介质提供以太网或者令牌网络服务的计算机网络。无线局域网在发展过程中还拓宽了局域网的技术概念:联接不仅仅是连接,“本地”的距离从米延伸到千米,传输介质不需要再埋在地下或隐藏在墙里,网络能够随着机构的发展而移动或变化。

在同一建筑物之内,无线局域网使用户在进行信息处理时不再受工作环境和位置的限制,甚至可以在移动过程中进行。只要在笔记本电脑或手持式个人计算机上安装 WLAN 适配器,用户就能够在建筑物内自由移动而保持与网络的连接。

无线局域网技术应用到台式计算机,可以提供传统局域网无法比拟的灵活性。用户可以随心所欲地将桌面计算机安装在传统电缆无法到达的地方,且允许其位置能够随时随地进行变换,无线局域网对于那些临时建立的工作机构或者快速发展的组织而言是最合适的选择。

无线局域网的发展,还使得局域网的通信范围大大拓宽。有线局域网中两个站点的距离,使用铜缆时被限制在 500m 以内。无线局域网中两个站点间的距离目前可以达到 50km,距离数公里的建筑物中的网络可以集成为同一个局域网。

大多数无线局域网产品主要在 2.4GHz 频段上运行。由于 2.4GHz 频段是对所有无线电系统都开放的频段,因此使用其中的任何一个频段都有可能遇到不可预测的干扰源。无线通信技术为此特别设计了快速确认和跳频方案,以确保无线通信链路稳定。

跳频技术将频带跳到另一个信道。在一次通信连接中,无线通信收发器使用伪随机码,不断地从一个信道跳到另一个信道。由于只有收发双方是按这个规律进行通信,接收端的频率变化保持与发射端频率变化一致,其他干扰不可能按同样规律进行干扰,因而可以将干扰产生的影响尽量减少。跳频的瞬时带宽是很窄的,但通过扩展频谱技术可以使这个窄带宽成百倍地扩展成宽频带。

无线电波在传输过程中的不断衰减,导致无线局域网接入点设备的通信范围被限定在一定的距离之内。这个范围被称为微单元。如果在无线网络中设立多个接入点,它们的微单元互相有一定范围重合,就可以实现无线用户在整个无线网络覆盖区内的移动工作。用户计算机配置的无线网卡能够自动发现附近信号强度最大的接入点设备,并通过这个接入点收发数据,保持不间断的网络连接。这种工作方式被称为无线漫游。

目前无线局域网产品采用的技术标准,主要有 IEEE 802.11、IEEE 802.11b、IEEE 802.11a、IEEE 802.11g、HomeRF、IrDA 和蓝牙。

##### (1) IEEE 802.11

IEEE 于 1997 年 6 月推出了第一代无线局域网标准

IEEE 802.11。这个标准定义了物理层和介质访问控制子层 (MAC) 的协议规范, 是一个开放的标准。该标准使得各种不同厂商的无线产品得以互联, 提出了核心设备执行单芯片解决方案, 降低了采用无线技术的成本。

IEEE 802.11 的物理层定义了数据传输的信号特征和调制方法, 定义了两个无线电射频传输方法和一个红外传输方法。无线电射频 (RF) 传输标准包括直接序列扩频 (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum) 技术和跳频扩频 (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum) 技术。

由于在无线网络中进行冲突检测较困难, IEEE 802.11 规定介质访问控制 (MAC) 子层采用冲突避免 (CA) 协议, 而不是冲突检测 (CD) 协议。为了尽量减少数据量通信的传输碰撞和重发, 防止各站点无序地争用信道, 无线局域网中采用了和以太网 CSMA/CD 协议相类似的 CSMA/CA (载波监听多路访问/冲突防止) 协议。CSMA/CA 通信方式将时间域划分与帧格式紧密联系起来, 保证某一个时刻只有一个站点发送, 实现了网络系统的集中控制。

在 IEEE 802.11 中, 定义基本服务群 (BSS) 是无线局域网的基本单元, 功能包括分布协调功能 (DCF) 和无线访问接入点协调功能 (PCF)。在 PCF 模式中, 将由一个无线访问接入点 (Access Point, AP) 来控制介质的所有访问。当系统处于 PCF 模式期间, 负责控制访问的无线访问接入点将接纳每个终端站的数据, 经过给定的时间后转移到下一站。只有被接纳的终端站才允许发射数据, 也只有在被接纳后, 它们才接收来自无线访问接入点的数据。由于 PCF 按预定的方式给每个端站确定了一个发射顺序, 因此保证了每条数据流的最大延迟。PCF 的不足之处是可伸缩性较差。由单一无线访问接入点控制媒体访问, 且必须接纳所有终端站通信的工作模式, 使得在较大的网络中运行效率较低。

IEEE 802.11 的介质访问控制 (MAC) 子层, 还负责客户端与无线访问接入点之间的通信。当一个无线局域网客户端进入一个或多个无线访问接入点的覆盖范围时, 将根据信号强度和监测到的包错误率, 选择其中性能最好的一个接入点进行联系。一旦被该无线访问接入点接受, 客户端会将无线信道调整设置到该接入点的无线信道。客户端定期检查到这样的接入点, 它将与新的接入点建立联系, 调整到该接入点的无线信道。出现重新建立连接的原因通常是由于无线站点的物理位置远离了原来的接入点, 导致信号变弱。另外, 当建筑物中的无线特性发生变化, 或者原来使用的接入点的网络通信量过高时, 也会出现重新建立连接的情形。后一种情况通常被称为“负载平衡”, 主要作用是将无线局域网的总体负载最有效地分布到可用的无线基础设施中。

IEEE 802.11 介质访问控制 (MAC) 子层提供的服务, 包括安全服务、MSDU 重新排序服务和数据服务。安全服务的内容为加密、验证和访问控制, 服务范围局限于站与站之间的数据交换。MSDU 重新排序服务是为了提高成功发送的可能性。

2000 年 8 月, IEEE 802.11 标准被进一步完善和修订, 成为 IEEE/ANSI 和 ISO/IEC 的一个联合标准, ISO/IEC 将该标准定为 ISO 880211。对 IEEE 802.11 标准的修订内容包括用一个基于 SNMP 和 MB 来取代原来基于 OSI 协议的 MIB。

## (2) IEEE 802.11b

IEEE 802.11b 是 IEEE 802.11 标准的另一个扩充, 它规定采用 2.4GHz 频带, 调制方面采用补偿码键控 (CKK)。IEEE 802.11b 标准对 IEEE 802.11 标准最重要的改进, 是

在 IEEE 802.11 的基础上增加两种更高通信速率 5.5Mbit/s 和 11Mbit/s 的支持。

由于现行的以太网技术可以实现 10Mbit/s 乃至 1000Mbit/s 等不同速率以太网之间的兼容, 因此有了 IEEE 802.11b 标准后, 移动用户将可以得到以太网的网路性能、速率和可用性, 管理者也可以无缝地将多种局域网技术集成起来, 形成一种能够最大限度地满足用户需求的网络。IEEE 802.11b 的基本结构、特性和服务仍然由最初的 IEEE 802.11 标准定义。IEEE 802.11b 规范只影响 IEEE 802.11 标准的物理层, 它增加了更高的数据传输速率和更健全的连接性。

IEEE 802.11b 可以支持 5.5Mbit/s 和 11Mbit/s 两种速率通信。由于选择了 DSSS 作为该标准的唯一物理层技术, IEEE 802.11b 系统可以与速率为 1Mbit/s 和 2Mbit/s 的 IEEE 802.11 DSSS 系统兼容, 但不能与速率为 1Mbit/s 和 2Mbit/s 的 IEEE 802.11 FSSS 系统兼容。

大多数 IEEE 802.11b 网络的传输距离能够达到 100m, 但这只是粗略估算, 功率较高的发射机可以扩大传输距离, 而干扰和信号阻塞有可能缩短传输距离。由于无线局域网主要用在室内环境中, 安全要求、墙壁阻挡和其他信号干扰都可能限制传输距离。

## (3) IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11g

IEEE 802.11b 于 2000 年推出, 采用直接序列扩频 (DSSS), 技术比较简单。IEEE 802.11b 推出后, IEEE 又制定了 IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11g, 这两个标准的数据传输速率比 IEEE 802.11b 高得多。IEEE 802.11a 采用较为复杂的正交频分复用 (OFDM) 技术。技术越复杂, 数据传输速率越高。IEEE 802.11b 的速率为 11Mbit/s, IEEE 802.11a 的速率却高达 54Mbit/s。

IEEE 802.11a 除数据传输速率较高外, 还使用 5GHz 的较高频率, 而 IEEE 802.11b 则使用 2.4GHz 频段, 而且与无绳电话、微波炉和“蓝牙”等装置共用这一频段。从频宽和频谱拥挤角度看, IEEE 802.11a 优于 IEEE 802.11b, 因为频段较宽, 意味着更多的无线信道可以在无干扰的环境下共存。

尽管 5GHz 频段有许多优点, 但也存在一些问题, 其中最主要的问题是兼容性, 即频率不同意味着 IEEE 802.11a 的产品不能与 IEEE 802.11b 的互通, 为了解决这个问题, IEEE 制定出了 802.11g, 该标准提高 IEEE 802.11b 的数据传输速率, 并增大传输距离, 以使它与 IEEE 802.11a 兼容。

IEEE 802.11g 与 IEEE 802.11a 一样也采用 OFDM 技术, 但使用的频段与 IEEE 802.11b 相同, 传输距离更远。

## (4) HomeRF

HomeRF 是专门为家庭用户设计的一种无线局域网技术标准, 利用跳频扩频方式, 既可以通过时分复用支持语音通信, 又能通过 CSMA/CA 协议提供数据通信服务。HomeRF 还提供了与 TCP/IP 协议良好的集成, 支持广播、组播和 IP 地址。目前, HomeRF 标准工作在 2.4GHz 的频段上, 跳频带宽为 1MHz, 最大传输速率为 2Mbit/s, 传输范围超过 100m。

美国联邦通信委员会 (FCC) 已经允许下一代 HomeRF 无线通信网络传送的最高速度提升到 10Mbit/s。这个速度是目前该网络速度的 5 倍, 将使 HomeRF 的带宽与 IEEE 802.11b 标准所能达到的 11Mbit/s 的带宽相差无几, 并使 HomeRF 更加适合在无线网络上传输音乐和视频信息。美国联邦通信委员会还接受了 HomeRF 工作组的要求, 将

HomeRF/SWAP (共享无线访问协议, Shared Wireless Access Protocol) 使用的 2.4GHz 频段中的跳频带宽增加到 5MHz。

#### (5) IrDA 技术

IrDA 是红外数据标准协会 (Infrared Data Association) 的简称, 成立于 1993 年, 是非营利性组织, 致力于建立无线传播连接的国际标准, 目前全世界拥有的 160 个会员中, 包括计算机与通信设备厂商、软件公司及电信公司机构。

IrDA 是一种利用红外线进行点对点通信的技术, 软件和硬件技术比较成熟, 主要优点是体积小、功率低, 适合设备移动的需要; 传输速率高, 可达 16Mbit/s; 成本低, 应用普遍。目前全世界 95% 的笔记本电脑安装了 IrDA 接口, 最近市场上还出现了可以通过 USB 接口与 PC 相连接的 USB-IrDA 设备。使用 IrDA 技术组建无线局域网被认为是一种很有发展潜力的领域。

但是 IrDA 技术也有局限性。首先它是一种视距传输技术, 两个具有 IrDA 端口的设备在传输数据时, 中间不能有阻挡物。这对于两个设备不难实现, 但对于多个设备组网通信, 就必须彼此调整位置和角度 (传统的 IrDA 接收角度只有 30°, 现在扩展到 120°)。这是 IrDA 技术组网的致命弱点。其次, IrDA 设备使用红外线 LED 器件作为核心部件, 不十分耐用。如果经常用 IrDA 端口联网, 可能不堪重负。

#### (6) 蓝牙技术

蓝牙 (Bluetooth) 技术是一种近距离无线通信连接技术, 用于各种固定与移动的数字化硬件设备之间通信, 具有连接稳定、无缝合、低成本的优点。蓝牙技术将通信驱动软件固化在微型芯片上, 可以方便地嵌入设备之中, 使得它能够被广泛应用于日常生活中。

蓝牙技术同样采用了跳频技术, 但与其他工作在 2.4GHz 频段上的系统相比, 蓝牙跳频更快, 数据包更短, 这使蓝牙比其他系统更稳定。蓝牙技术理想的连接范围为 0.1~10m, 但是通过增大发射功率可以将距离延长至 100m。

蓝牙基带协议是电路交换与分组交换的结合。在被保留的时隙中可以传输同步数据包, 每个数据包以不同的频率发送。一个数据包名义上占用一个时隙, 但实际上可以被扩展到占用 5 个时隙。蓝牙可以支持异步数据通道、多达 3 个的同时进行的同步话音信道, 还可以用一个信道同时传送异步数据和同步话音。异步信道可以支持一端最大速率为 721kbit/s 而另一端速率为 57.6kbit/s 的不对称连接, 也可以支持 43.2kbit/s 的对称连接。

## 5 网络设备

### 5.1 网络适配器 (网卡)

网络适配器又称网卡或网络接口卡 (Network Interface Card, NIC), 它是使计算机联网的设备。平常所说的网卡就是将 PC 机和 LAN 连接的网络适配器。网卡 (NIC) 插在计算机主板插槽中, 负责将用户要传递的数据转换为网络上其他设备能够识别的格式, 通过网络介质传输。它的主要技术参数为带宽、总线方式、电气接口方式等。它的基本功能为: 从并行到串行的数据转换, 包的装配和拆装, 网络存取控制, 数据缓存和网络信号。目前主要是 8 位和 16 位网卡。

网卡必须具备两大技术: 网卡驱动程序和 I/O 技术。驱动程序使网卡和网络操作系统兼容, 实现 PC 机与网络的通

信。I/O 技术可以通过数据总线实现 PC 和网卡之间的通信。网卡是计算机网络中最基本的元素。在计算机局域网中, 如果有一台计算机没有网卡, 那么这台计算机将不能和其他计算机通信, 也就是说, 这台计算机和网络是孤立的。

#### (1) 网卡的分类

根据网络技术的不同, 网卡的分类也有所不同, 如大家所熟知的 ATM 网卡、令牌环网卡和以太网网卡等。据统计, 目前约有 80% 的局域网采用以太网技术。就兼容网卡而言, 目前, 网卡一般分为普通工作站网卡和服务器专用网卡。服务器专用网卡可按以下的标准进行分类: 按网卡所支持带宽的不同可分为 10M 网卡、100M 网卡、10M/100M 自适应网卡、1000M 网卡几种; 根据网卡总线类型的不同, 主要分为 ISA 网卡、EISA 网卡和 PCI 网卡三大类, 其中 ISA 网卡和 PCI 网卡较常使用。ISA 总线网卡的带宽一般为 10M, PCI 总线网卡的带宽从 10M 到 1000M 都有。同样是 10M 网卡, 因为 ISA 总线为 16 位, 而 PCI 总线为 32 位, 所以 PCI 网卡要比 ISA 网卡快。

#### (2) 网卡的接口类型

根据传输介质的不同, 网卡出现了 AUI 接口 (粗缆接口)、BNC 接口 (细缆接口) 和 RJ45 接口 (双绞线接口) 三种接口类型。所以在选用网卡时, 应注意网卡所支持的接口类型, 否则可能不适用于你的网络。市面上常见的 10M 网卡主要有单口网卡 (RJ45 接口或 BNC 接口) 和双口网卡 (RJ45 和 BNC 两种接口), 带有 AUI 粗缆接口的网卡较少。而 100M 和 1000M 网卡一般为单口卡 (RJ45 接口)。除网卡的接口外, 我们在选用网卡时还常常要注意网卡是否支持无盘启动。必要时还要考虑网卡是否支持光纤连接。

#### (3) 网卡的配置

据统计, 目前绝大多数的局域网采用以太网技术, 因而以配置以太网网卡为例, 说明以下几点注意事项:

1) 根据网络应用需求配置相应性能的网卡: 目前以太网网卡有 10M、100M、10M/100M 及千兆网卡。对于大数据量网络来说, 服务器应该采用千兆以太网网卡, 这种网卡多用于服务器与交换机之间的连接, 以提高整体系统的响应速率。而 10M、100M 和 10M/100M 网卡则属人们经常配置且常用的网络设备, 这三种产品的价格相差不大。所谓 10M/100M 自适应网卡是指网卡可以与远端网络设备 (集线器或交换机) 自动协商, 确定当前的可用速率是 10Mbit/s 还是 100Mbit/s。对于通常的文件共享等应用来说, 10M 网卡就已经足够了, 但对于将来可能的语音和视频等应用来说, 100M 网卡将更利于实时应用的传输。鉴于 10M 技术已经拥有的基础 (如以前的集线器和交换机等), 通常的变通方法是配置 10M/100M 网卡, 这样既有利于保护已有的投资, 又有利于网络的进一步扩展。就整体价格和技术发展而言, 千兆以太网到桌面机尚需时日, 但 10M 的时代已经逐渐远去。因而对中小企业来说, 10M/100M 自适应网卡应该是采购时的首选。

2) 注意总线接口方式: 目前台式机和笔记本电脑中常见的总线接口方式都可以从主流网卡厂商那里找到适用的产品。但值得注意的是, 市场上很难找到 ISA 接口的 100M 网卡。1994 年以来, PCI 总线架构日益成为网卡的首选总线, 目前已牢固地确立了在服务器和高端桌面机中的地位。即将到来的转变是这种网卡将推广到所有的桌面机中。PCI 以太网网卡的高性能、易用性和增强了的可靠性使其被标准以太网网络所广泛采用, 并得到了 PC 业界的支持。

3) 网卡兼容性和运用的技术: 快速以太网在桌面一级



普遍采用 100Base-TX 技术,以 UTP 为传输介质,因此,快速以太网的网卡设一个 RJ45 接口。由于小办公室网络普遍采用双绞线作为网络的传输介质,并采用综合布线,因此,选择单一 RJ45 接口的网卡就可以了。适用性好的网卡应通过各主流操作系统的认证,至少具备如下操作系统的驱动程序:Windows、Netware、Unix 和 OS/2。智能网卡上自带处理器或带有专门设计的 AISC 芯片,可承担使用非智能网卡时由计算机处理器承担的一部分任务,因而即使在网络信息流量很大时,也极少占用计算机的内存和 CPU 时间。智能网卡性能好,价格也较高,主要用在服务器上。另外,有的网卡在 BootROM 上做文章,加入防病毒功能;有的网卡则与主机板配合,借助一定的软件,实现 Wake-on-LAN (远程唤醒)功能,可以通过网络远程启动计算机;还有的计算机则干脆将网卡集成到了主机板上。

## 5.2 中继器

中继器是物理层的互联设备,主要用于扩展局域网网段的长度。因其只在两个局域网间实现电转接,故仅用于连接相同的局域网的网段。其优点是便宜、简单;主要缺点是对电子干扰机错误信号也进行再生,其次,每个局域网中接入的中继器数量因受时延和衰减的影响必须加以限制。

为了适应用户的需求,有各种各样的中继器产品,如果多路复用器、多口中继器,还有模块中继器、缓冲中继器等。

多路复用器主要用来提高物理介质的利用率,又分为时分多路复用、频分多路复用、波分多路复用等。

多口中继器用来支持 3 个或多个总线网段,例如 3 个或更多的以太网。

10Mbit/s 用的典型多口中继器是 10BASE-T 用的 Hub,将若干工作站用双绞线连成物理上的星形结构,但逻辑上是将这些工作站连到一个共享的网段上,然后由 Hub 经过同轴电缆、光纤或双绞线再连向较高层的网络设备。结构化布线系统使网络管理员轻松地重新配置网络、分配用户,连接不同的 LAN 系统。

应当区分只具有中继功能的 Hub 和具有桥接功能的 Hub,后者常常叫做智能 Hub 或交换器,主要用于将不同的网段相连,或者说,将一个大网络划分为多个按网桥功能分割的网段,以便减少各网段内的冲突和提高网段的带宽。

## 5.3 集线器

集线器(Hub)的作用是将网段上的各个介质段从物理上连接在一起。Hub 是中继器的一种形式,区别在于 Hub 能够提供多端口服务,所以集线器也称为多口中继器。Hub 在 OSI 参考模型中位于数据链路层。

Hub 能够支持各种不同的传输介质和数据传输速率。有些集线器还支持多种传输介质的连接器和多种数据传输速率。随着技术的发展,集线器的功能正变得越来越强,而且,对于网络管理也越来越重要。

### (1) 独立式 Hub

服务于一个计算机工作组的独立式 Hub,是与网络中的其他设备隔离的。它们可以通过同轴线、光纤或双绞线与其他 Hub 连接。独立式 Hub 最适合于较小的独立部门、家庭办公室或实验室环境。它们既可以是被动式的又可以是智能型的。它们为一小群用户安装,连接起来很简便。独立式 Hub 并不遵循某种固定的设计。它提供的端口数目也是不固定的。独立式 Hub 可以提供多达 200 个连接端口。带

有多连接的单个 Hub 很容易导致网络的单点失败。

### (2) 堆叠式 Hub

堆叠式 Hub 类似于独立式 Hub。但从物理上来看,它们被设计成与其他 Hub 连在一起,并被置于一个单独的电信机柜里;从逻辑上看,堆叠式 Hub 代表了一个大型的 Hub。使用堆叠式 Hub 有一个很大的好处,那就是网络或工作组不必只依赖一个单独的 Hub,这样也就可以避免单点故障。这种 Hub 可以堆叠起来的数目是不同的。堆叠式 Hub 可以支持不同传输介质的连接器和传输速率。

### (3) 模块式 Hub

模块式 Hub 通过底盘提供了大量可选的接口选项。这使得它使用起来比独立式 Hub 和堆叠式 Hub 更加方便灵活。模块式 Hub 有主板和插槽,可以插入不同的适配器。插入的适配器可以使这些模块式 Hub 与其他类型的 Hub 相连,或者与路由器、广域网相连,也可以与令牌环网或以太网的主干网相连。这些适配器也可以把这种模块式 Hub 连接到管理工作站或冗余设备上,如备用的电源。由于模块式 Hub 可以安装冗余部件,所以它在所有类型的 Hub 中,可靠性是最高的。模块式 Hub 具有很好的扩充性并可以根据网络环境的需要加上网络管理功能,即可以定制相应的模块式 Hub。

### (4) 智能型 Hub

智能型 Hub 能够处理数据、监视数据传输并提供排除信息。由于可以在网络中的任何地方对其实施管理,智能型 Hub 又被称作管理型 Hub。要注意的是,具有处理能力的独立式、堆叠式或模块式 Hub 都可以认为是智能型设备。智能型 Hub 的优点是它们具有分析数据的能力。网络管理员可以把智能型 Hub 产生的信息存储在管理系统库中。管理系统库是由系统管理程序收集到的数据构成的,它能够分析出网络的性能和问题。比如 Novell 公司的 ManageWise,通过这种程序,网络管理员可以通过图形方式查看网络布局、断开有问题节点的连接,当出现问题时进行设置以发出报警信号,分辨出产生不必要通信业务的节点,或者找出远程节点的信息(如 IP 地址)。

以上分类是基于 Hub 的结构进行的,如果按照工作原理分类,Hub 可以被分为:非交换式 Hub 和交换式 Hub。静态交换式 Hub 通过管理软件实现对各网段端口的配置、更改,这种 Hub 没有改善网络带宽性能的功能;动态交换式 Hub 能动态地提供多条端到端的并行通信链路,达到提高带宽的目的。

## 5.4 网桥

网桥是数据链路层的互联设备,其作用一般是互联多个小局域网组成一个互通的大局域网。网桥也能支持局域网的远程连接。

网桥的基本特征和基本功能如下:

1) 网桥能够互联两个采用不同数据链路层协议、不同传输介质与不同传输速率的网络。

2) 网桥以接收、存储、地址过滤与转发的方式实现互联网络之间的通信。

3) 网桥需要互联的网络在数据链路层以上采用相同的协议。

4) 网桥可以分割两个网络之间的广播通信量,有利于改善互联网的性能与安全性。

网桥在局域网中经常被用来将一个大型局域网分成既独立又能相互通信的多个子网的互联结构,从而可以改善各个子网的性能与安全性。此外,网桥对其收到的内容不作修

改；网桥应包含足够的缓冲存储空间，以满足峰值要求；网桥必须包含寻址和路径的选择功能，连接多个网络。

## 5.5 交换机

随着连接设备硬件技术的提高，集线器、交换机、路由器和网桥相互之间的界限划分已变得很模糊了。交换机可以把一个网络从逻辑上划分成几个较小的段。从原理上看，交换机与网桥是一样的，都是工作在 OSI 参考模型数据链路层的网络互联设备。它具有多个端口，每个端口都具有桥接的功能，可以连接一个 LAN 或一个高性能服务器。交换机能够为每个联网的机器提供专用的带宽。与网桥还有一点相似，交换机保持一张有关地址的信息表，并用该信息来决定如何过滤并转发 LAN 流量。事实上，交换机的每一个端口都扮演一个网桥的角色，而且每一个连接到交换机上的设备都可以享用它们自己的专用信道。

### (1) LAN 交换机

LAN 交换机使传统的共享带宽的端口互相分离，并依靠这些接口之间的互联形成更大的 LAN，从而减轻了传统 LAN 网段的通信量负担。因为如果一个以太网仅连接了一个用户，该用户将获得全部的信道带宽，它发送出来的数据不会与其他用户的数据帧冲突。互联是通过智能交换矩阵实现的，它负责将数据传送到目的地，同时降低了传统以太网中由于争取传输媒体而产生冲突的可能性。借助于优化的缓存方案，交换矩阵能够达到线速交换。另外，由于它减少了共享媒体中存在的竞争情况，因此在很大程度上消除了网络瓶颈。

LAN 交换机为许多独立的 LAN（即交换机上的端口）提供了集中点。它的每个端口都是一个独立的 LAN，有自己专用的 LAN 通路；LAN 之间通过高速（达 Gbit/s 量级）底板互连。例如，一台 LAN 交换机能够具有很多以太网端口，每个端口可以有 10Mbit/s 或 100Mbit/s 速率；它也能实现多种技术之间的转换，如同时支持以太网、分布式光线数字接口（FDDI）和令牌环网，这使得同时采用多种技术组网变得相对简单。图 11.5-11 描述了一个共享带宽的以太网和 LAN 交换机之间的比较。在交换式 LAN 中，每台 PC

都有自己的专用的 10Mbit/s 以太网段，而在共享式 LAN 中，所有相连的 PC 共享 10Mbit/s 的带宽。

交换机能“交换”现有的所有技术：以太网（10Mbit/s、100Mbit/s、1000Mbit/s）、FDDI、令牌环和异步传输方式（ATM）。通过升级核心交换机能够提高网络的性能。如果用户使用的是 10M/100Mbit/s 自适应网卡和 5 类网线，当 10Mbit/s 端口升级到 100Mbit/s 速率时，用户可用带宽提高 10 倍，而整个升级过程对用户则是透明的。

主干交换机是网络核心使用的高端交换机。它获得的数据来自集线器和工作组交换机，它提供这些设备之间的互联。在主干交换机中通常可以插入各种网络选项的卡。这些卡所支持的网络类型有：FDDI、以太网、快速以太网、令牌环网和 ATM。因此，这类交换机通常用来连接一种或多种高速网络，如 FDDI、快速以太网、ATM 和千兆位以太网。工作组交换机属于低端设备，它通过共享技术连接多个共享网段。工作组交换机一般与快速以太网或千兆位以太网连接。工作组交换机通常用于连接 PC 或者低流量的数据库或服务器。例如，一台有 24 个端口的以太网交换机提供 2.4Gbit/s 的带宽，可以看作 24 个分离的网段。

LAN 交换机的工作原理是：从源端口读取帧，根据目的 MAC 地址，以极快的速度将帧交换到适当的端口。LAN 交换结合了微机处理技术与第 2 层网桥的概念，这与网桥执行的操作相似。为了方便使用起见，交换机往往具有“自学习”功能，即当主机第一次发送数据分组时，交换机通过检查其源地址记住具体设备的位置。交换机建立主机地址表后，就不再需要将数据分组发往所有端口，这就大大节省了网络带宽。如果它在查表后仍不知道要将某个帧发往何处，它将采取“洪泛”的方法向除到来端口以外的所有端口转发该帧。LAN 交换机也可以看作一个高速的多端口网桥。

随着技术的发展和应用的现实需要，又出现许多与传统 LAN 交换机不同的重要 LAN 交换机类型。

### (2) 第 2 层交换机

LAN 交换机是在 OSI 参考模型第 2 层运行的网络设备。它也被称为多端口网桥，其中每个端口构成一个独立的 LAN 网段，通常能够有助于改善网络性能。这些端口之间通过桥接方式进行通信，交换机中有一个端口提供到主干网的高速上行链路。第 2 层交换机采用了透明桥的概念，在第 2 层实现网络连接，它对于高层协议透明。因此，来自 TCP/IP、IPX 和 Apple Talk 数据分组都能通过 LAN 交换机传递。

### (3) 第 3 层交换机

也称为多层交换机或选路交换机，它涉及 OSI 参考模型的第 2 层数据链路层和第 3 层网络层。作为交换机，它除具有与第 2 层交换机相同的属性外，还具有某些选路的功能，但选路方面的功能与路由器相比较为有限。例如，可将某些端口设置为特定的 IP 子网，可将某个端口设定为“默认路径”，当数据分组需要选路至其他子网时就通过该端口传递。此时必须明确交换机如何处理不能选路的分组，明确是采用桥接方式，还是丢弃分组。为了提高处理速度，尽可能采用交换，仅在必要时选路。因为选路的逻辑显然比较复杂的逻辑复杂得多，从而影响数据分组的传递速度。

第 3 层交换机的目标在于同时具有以下两项特征：交换网络的速度以及选路网络的控制。它常采用专用集成电路技术（ASIC）将以前用软件实现的功能固化在硬件中。许多交换机中都使用多个 ASIC 以实现并行性，使得多端口之间

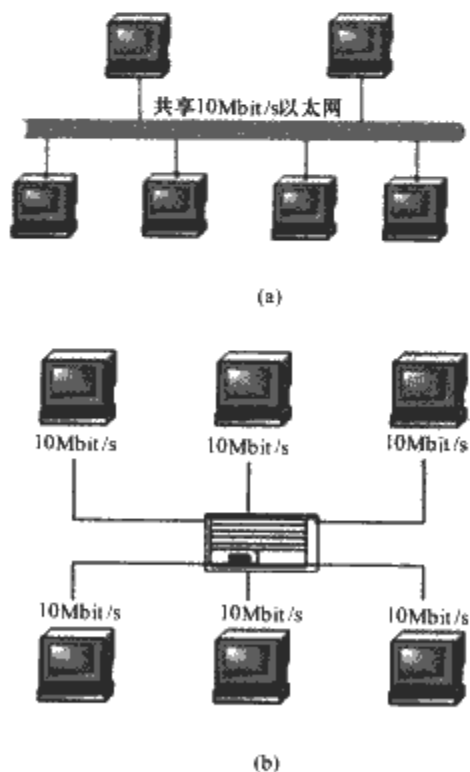


图 11.5-11 共享带宽的以太网和 LAN 交换机之间的比较

- (a) 传统的共享式 10Mbit/s 以太网；  
(b) 交换式局域网，每个端口具有 10Mbit/s



具有线速传输速率的有效途径。该交换机的另一个特征是它支持的功能仅仅是功能完备的路由器的子集。减少功能通常需要压缩代码,因而能够提高性能。例如,许多第 3 层交换机都提供 IP 选路解决方案,但不支持多协议。可以预期未来的第 3 层交换机将具备更多的功能,朝着功能完备的路由器发展。然而,必然要在功能、速度和简单性这几方面进行折中。

#### (4) 第 4 层交换机

第 4 层交换机扩展了第 3 层交换和第 2 层交换,它支持细粒度的网络调整,以及对通信流的优先划分。例如,对于采用 TCP/IP 协议的分组,第 2 层交换根据 MAC 地址进行交换,第 3 层交换根据分组 IP 地址进行交换,第 4 层交换根据 TCP/UDP 端口号进一步确定通信量的转发目的地。

第 4 层交换允许根据应用程序划分分组的优先级,这使得网络管理员能够在白天限制某些特定应用程序的通信量,将一定量的带宽用于重要的应用程序。从本质上讲,第 4 层交换提供了在网络中实现 COS 的方法。例如,企业可以选择减少万维网 (Web) 或文件传输协议 (FTP) 的通信量,而给电子邮件的简单消息传输协议 (SMTP) 或远程通信网 (Telnet) 设置更高的优先级。

### 5.6 路由器

路由器是在网络层上实现多个网络互联的设备。

图 11.5-12 是三个局域网使用路由器互联的结构。在这种结构中,局域网的网络层数据链路层与物理层的协议可以是不同的,但网络层以上的高层要采用相同的协议 (例如 TCP/IP)。路由器可以有效地将多个局域网的广播通信量相互隔离开来,每一个局域网都是独立的子网。LAN A 的源节点 101 的网络层生成了一个或多个分组,这些分组带有源 IP 地址与目的 IP 地址。如果 LAN A 中 101 节点要向 LAN C 中的目的节点 104 发送数据,它只要按正常的工作方式将带有源 IP 地址与目的 IP 地址分组装配成帧发送出去即可。连接在 LAN A 的路由器接收到来自源节点 101 的帧之后,由路由器的网络层检查分组头,根据分组的目的 IP 地址去查路由表,确定该分组输出路径。路由器确定该分组的目的节点在 LAN C,它会将该分组发送到目的节点 104 所在的局域网 LAN C。

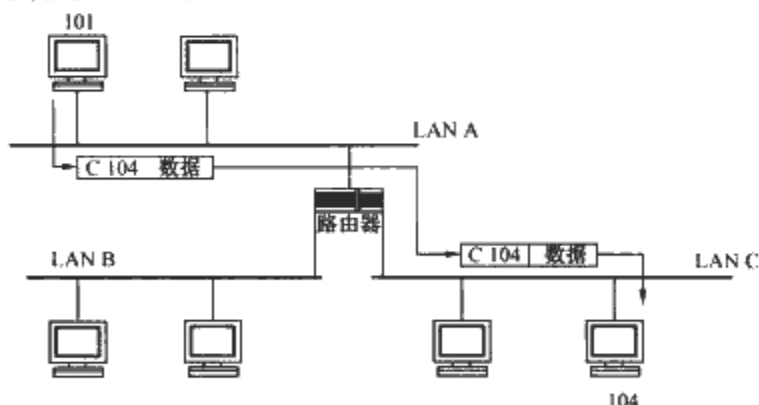


图 11.5-12 用路由器实现局域网互联的结构

由路由器互联的局域网中,每个局域网只要求网络层以及以上高层协议相同,数据链路层与物理层协议可以是不同的。对于路由器来说,它可以分别连接总线型局域网 (如符合 802.3 标准的 Ethernet) 与环形局域网 (如符合 802.5 标准的 Token Ring)。路由器与 Ethernet 连接使用 Ethernet 网卡,与 Token Ring 连接就需要使用 Token Ring 网卡。尽管 Ethernet 与 Token Ring 的帧格式与 MAC 方法不同,但路由器可以通过两种网卡分别处理两种类型局域网的帧。如

果路由器连接更多的局域网时,其处理方法是相同的。

在一个大型互联网中,经常用多个路由器将多个局域网、局域网与广域网互联起来,路由器之间也可以用远距离的点-点线路连接。在互联网中,路由器可能连接多条点-点线路,因此互联网的路由算法会比较复杂。

#### 5.6.1 路由器的功能

路由器是网络层的互联设备。路由器提供了各种各样、各种速率的链路或子网接口,参加管理网络,提供对资源的动态控制。路由器的功能包括:

1) 连接 WAN。包括各种 WAN 接口,如 X.25、ISDN、帧中继、ATM、卫星链路、微波、租用或拨号线、同步链路等。

2) 数据处理。包括过滤、转发、优先、复用、加密以及压缩等。

3) 管理设施。包括配置管理、容错管理以及性能管理等。

#### 5.6.2 路由器的种类

##### (1) 按功能分

路由器按功能可分为单协议路由器和多协议路由器。

单协议路由器只能应用于特定的协议环境,它通常是厂商相关设备 (用于专用协议)。从长远来看,这种路由器或者因协议的改换而被淘汰或者会限制网络的发展 (不能支持任何协议改变)。所以它只能作为短期的成本低廉的解决方案。

如果互联大局域网网络层采用了两种不同的协议,例如一种是 IP 协议,另一种是 IPX 协议,这时就需要使用多协议路由器来连接。多协议路由器支持多种协议并提供一种管理手段来使“操作/禁止”某些特定协议,提供应用时的灵活选择。

##### (2) 按性能和价格分

按照性能和价格的高低,路由器可分为高档、中档和低档三种。

1) 高档路由器构成企业互联网的主干,支持所有通用的路由器协议和网络协议,支持多于 50 个局域网或广域网端口。其特点是采用多处理器结构,包括交换、路由、接口 3 种处理器。每种处理器完成特定功能,并进行了优化设计,处理器之间采用高速总线连接。其交换处理器并非一般的通用处理器,而采用定制的,经过优化设计、专用于包交换的处理器。它的包交换过程由硬件完成,这样交换将具有更快的速度。

2) 中档路由器用于大型企业中连接主干网设备,也可用于组建小型企业主干网。它可支持常见的路由协议和网络协议。其吞吐量可达 58kbit/s,支持 Ethernet、Token Ring、FDDI 等局域网接口,广域网接口有 V.35、HSSI、X.21、RS449/RS422、RS232。广域网服务包括帧中继、SMDS、T1、X.25 等。支持的网络协议有 TCP/IP、DECnet Phase IV、OSI、IPX、VINES、Apple Talk、XNS,具备透明桥、翻译桥、源路桥等桥接功能及生成树算法,支持 SNMP 管理。

3) 低档路由器一般用作访问路由器。它把小规模的端点 (如个人) 连入企业网。其典型配置是一个 Ethernet 接口及 Token Ring 接口,支持低速租用线或拨号连接,一般这种路由器应尽量简单,易于配置和管理。通常具备 1 个局域网接口和 1 个广域网接口,另加 1 个备用的广域网接口。它安装简便,操作容易,采用边界路由软件,简化远程路由,降低购置网络的费用,支持以太局域网接口。

### 5.7 协议转换器（网关）

协议转换器（网关）是高层的网络互联设备，它将不同网络的协议进行转换，数据重新分组，实现网络之间的通信。由于三层以下的互联设备分别以网桥和路由器为名，协议转换器常常与网关（Gateway）通用。

在网桥的讨论中，假设互联网络在数据链路层之上所使用的高层协议是相同的，在路由器的讨论中，假设互联网络在网络层之上所使用的高层协议是相同的，假设有这样一种情况，一个 NetWare Client 节点要与 SNA 网中的一台主机 Mainframe 通信，在这种情况下，由于 NetWare 与 SNA 的高层网络协议是不同的，所以局域网 LAN 中的 NetWare Client 不能直接访问 SNA 网中的大型机。如果二者要进行通信，就必须使用一种叫做网关（Gateway）的互联设备，它可以完成不同网络协议之间的转换。网关的作用是在 NetWare 结点产生的报文上加上必要的控制信息，并且将它转换成 SNA 主机处理时所需要的报文格式。

1) 网关必须容纳或吸收网络间的各种差异，执行不同的编址原理、不同的最大分组长度、不同的网络服务类型（数据或虚电路）、不同的网络接口、不同的超时机构、不同的差错恢复和状态报告能力等，支持应用层互通及互联网间的网络管理功能。

2) 网关的管理设施包括：活动的会话数量及每个会话支持的交通量；失败的会话数量及连接建立期间总的会话数；每条链路的容量及每条链路的故障记录；协议转换器的状态参数，可获得的链路的描述；默认及活动的内部配置参数；LAN 与 WAN 接口的类型和数量、并发会话的数目、管理接口及应用程序的数量。

3) 网关通过使用适当的硬件与软件，来实现不同网络协议之间的转换功能。硬件提供不同网络接口，软件实现不同的互联网协议之间的转换。在硬件方面，主要是提供网络接口和转换处理能力；在软件方面，应用包含各参加互联网的协议系统模块和有关协议的转换模块。协议转换器的一般结构如图 11.5-13 所示。

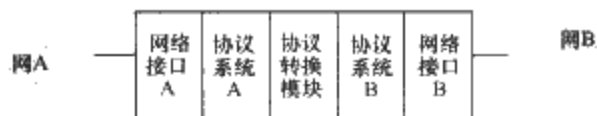


图 11.5-13 协议转换器（网关）结构

### 5.8 调制解调器

电话网目前仍是世界上覆盖最大的网络，因此它也为千家万户的个人计算机连入 Internet 提供了天然通道。计算机使用数字信号通信，而今天的电话系统大多仍使用模拟信号。故计算机通过电话网进行通信，必须在收发计算机之间使用称为调制解调器（Modem）的专用设备。在发送端，调制解调器将计算机传输的数字信号转换为能够在电话网电话线上传输的模拟信号；在接收端，将相应的模拟信号转换成计算机能够识别的数字信号。

简单而言，调制解调器有两个主要功能：首先是调制和解调。调制是指将计算机输出的“0”、“1”脉冲信号调制为相应模拟信号，以便在电话线上传输。解调是指再将电话线传输的模拟信号转换为计算机能识别的“0”、“1”脉冲信号。目前调制和解调功能通常是由一块 DSP（数字信号处理）芯片完成。当这两部分功能都是由硬件芯片完成时，即调制解调器的所有功能都是由硬件完成的，该调制解调器称为“硬调制解调器”。如果控制协议部分是软件实现的，而调制解调功能是用硬件实现时，则称为“半软调制解调器”；当两部分均用软件实现时，则称为“全软调制解调器”。

根据应用场合的不同，调制解调器可分为电话拨号调制解调器、电缆调制解调器和专线调制解调器。个人计算机一般是通过使用拨号调制解调器经电话网连入 Internet 的。通过 CATV 网络上网则需要使用电缆调制解调器，电缆调制解调器的传输速率较高，可达 10Mbit/s 或更高，但其价格较贵。



## 第12篇 防雷与接地

主 编：王金元 方 磊 陈慈宣

编写人员：朱 江 段宏博 张元芳 喻剑辉



# 第1章 防雷与接地概述

## 1 防雷的基本概念

雷电是一种自然现象,其破坏力和危险性很大。人类在对这种自然现象进行不断研究中,发现和总结出一些规律,从而形成了比较完善的防范措施。

众所周知,建筑物在地面凸起的高度越高就越容易遭受雷击。由于建筑物内电子信息设备和计算机网络系统的大量使用,建筑物遭受雷击的同时这些系统也很容易受到雷电波破坏,特别是一些重要的计算机系统,当遭雷电破坏系统不能正常工作时,产生的损失是不可估量的。

因此,现代防雷技术不仅要在建筑物外构建避雷针、避雷网、避雷带或其组合等措施,在其内部的供配电系统、电子信息系统等也应适当采取防范雷击电磁脉冲的措施。

由于雷电危害诸多,如果处理不好,将对人身、建筑物和电气设备等造成很大的伤害和损失。

因此,对于建筑物的防雷应详细调查地质、地貌、气象、环境等条件和雷电活动规律以及被保护物的特点等,因地制宜地采取防雷措施。

### 1.1 在防雷工程中通常采用的措施

- 1) 防直击雷。
- 2) 防侧击雷。
- 3) 防雷电反击。
- 4) 防雷电波侵入。
- 5) 防雷电感应。
- 6) 防雷击电磁脉冲。

在一幢需要防雷的建筑物中,上述6项措施不一定全部设置,应根据建筑的类别等因素合理选择。构建一个防雷系统所需的配置通常包括:接闪器、引下线、等电位联结、接地装置(网)、电涌保护器等。

### 1.2 防雷措施及配置中的名词术语

1) 直击雷。雷电直接击在建筑物上某个部位,产生电效应、热效应和机械力者称为直击雷。

2) 侧击雷。无序雷电(如球形雷)击在建筑物侧面的突出部位或金属构件上产生电效应、热效应和机械力者称为侧击雷。

3) 雷电反击。雷电流流经引下线和接地装置时产生的高电位对附近低电位物体(如金属物或电气线路)的反击称为雷电反击。

4) 雷电波侵入。由于雷电对架空线路或金属管道的作用,雷电波可能延沿着这些管路侵入室内,危及人身安全或损坏设备。

5) 雷电感应。闪电放电时,在附近导体上产生的静电感应和电磁感应,它可能使金属部件之间产生火花。

6) 雷击电磁脉冲。指闪电直接击在建筑物防雷装置或建筑物附近所引起的效应。绝大多数是通过连接导体的干扰,如雷电流或部分雷电流、被雷电击中的装置的电位升高以及电磁辐射干扰等,是一种由雷击产生的干扰源。

7) 接闪器。直接承受雷击的避雷针、避雷带、避雷网,以及用作接闪的金属屋面和金属构件等。

8) 引下线。连接接闪器与接地装置的金属导体。

9) 接地装置。接地体与接地线的总合。

## 2 接地的基本概念与分类

### 2.1 接地的基本概念

大地具有导电性良好和散流速度快等特点,它是一个无穷大的散流体。所谓无穷大是相对于电压、电流而言的。无论多高的电压,多大的电流,都不能改变大地始终保持零电位的特性。利用大地经常保持零电位这一特性,人为地将电气设备中带电或不带电的部分与大地连接,称为电气连接,简称接地。

在一幢建筑物中,接地是一项系统工程,所有的接地配置称作接地系统。构建一个接地系统所需的配置包括:接地极、接地导体、总等电位母排(MEB)、等电位联结母线、局部等电位接地端子箱等。

### 2.2 接地配置中的名词术语

1) 接地极。埋入土壤或特定的导电介质(如混凝土或焦炭)中、与大地有电接触的可导电部分。

2) 接地导体。在系统、装置或设备的给定点与接地极或接地网之间提供导电通路或部分导电通路的导体(注:在建筑物电气装置中,给定点通常是总接地端子,接地导体将该点与接地极或接地网相连接)。

3) 总等电位母排。接地配置组成部分的端子或母线,用于多个接地导体的电气连接。

4) 等电位联结母线。电气装置中作为等电位联结系统组成部分的母线,它为了等电位目的能将多个导体进行电连接。

5) 局部等电位接地端子箱。在局部场所为了等电位目的将多台设备或设备用多根导体与其进行电连接的箱子,该端子箱可与总等电位母排连接,也可与局部场所的地坪内钢筋连接。

### 2.3 接地系统的分类

根据接地的不同作用,通常分为功能性接地和保护性接地。

1) 功能性接地。为了保证电气装置或系统的正常运行,或使电气装置或系统可靠而正确地实现其功能。如工作(系统)接地、信号电路接地等。

2) 保护性接地。以人身和电气装置的安全为目的的接地。如保护接地、防雷接地、防静电接地、屏蔽接地等。

### 2.4 各种接地的作用

#### (1) 工作接地

为了保证电气装置在正常或发生故障情况下,可靠地工作而采取的接地,称为工作接地。工作接地一般都是通过电气装置的中性点来实现的,所以又称为供配电系统的中性点



接地。例如：配电变压器或电压互感器的中性点接地就属于工作接地。

直流电源接地，对电子设备供电的直流电源正极或负极的接地。

#### (2) 信号电路接地

为保证电子信号电路具有稳定的基准电位而设置的接地，可简称为信号地。

#### (3) 保护接地

将一切正常工作时不带电而在绝缘损坏时可能带电的金属部分（如：各种电气设备的金属外壳、配电装置的金属构架等）接地，以保证工作人员接触时的安全，这种接地称为保护接地。保护接地也是防止触电事故发生的有效措施。

#### (4) 防雷接地

为消除大气过电压对电气设备的威胁，而对过电压保护装置采取的接地措施称为防雷接地，把避雷针、避雷线和避雷器通过导体与大地直接连接亦属于防雷接地。

#### (5) 防静电接地

对一些易于积蓄电荷的电子信息技术和生产设施，将其表面积蓄的静电荷导入大地，以防止其危害的接地。如对电子信息技术、易燃易爆管道和储罐为防止静电的危害而设的接地。

#### (6) 屏蔽接地

电气装置（如电子设备和线路）为了防止其内部或外部电磁感应或静电感应的干扰，而对屏蔽体进行接地，称为屏蔽接地。

## 第2章 雷电及其防护

### 1 雷电的基础知识

#### 1.1 雷云的形成

1) 带电的云块称为雷云, 雷云是产生雷电放电的先决条件。

2) 雷云的带电过程可能是综合性的。云中水滴被强气流吹裂时, 较大的水滴带正电, 而较小的水滴带负电, 小水滴同时被气流携走; 此外, 水在结冰时, 冰粒上会带正电, 而被风吹走的没有结冰的水将带负电; 于是云的各部就会带有不同的电荷。雷云带电的过程也可能和水滴吸收离子、相互撞击或融合的过程有关。实测表明, 在 5~10km 的高度主要是正电荷的云层, 在 1~5km 的高度主要是负电荷的云层, 但在云的底部也往往有一块不大区域的正电荷聚集 (见图 12.2-1)。雷云中的电荷分布也远不是均匀的, 往往形成好多个电荷密集中心。每个电荷中心的电荷约为 0.1~10C, 而一大块雷云同极性的总电荷则可达数百库。

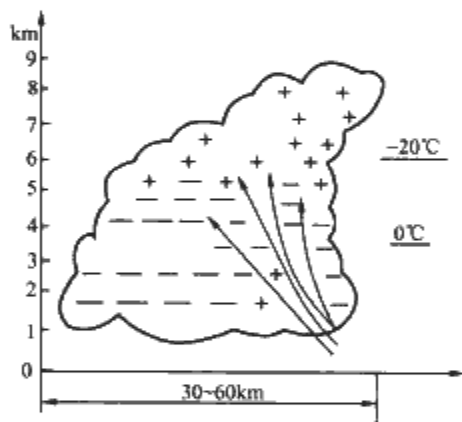


图 12.2-1 雷云电荷的分布

#### 1.2 雷电放电过程

##### (1) 雷电先导

雷云对大地有静电感应, 在雷云电场下, 大地中感应出异号电荷, 两者形成一个特殊的大电容器, 随着雷云中电荷的逐步积累, 空间的电场强度不断增大。当雷云中电荷密集处的电场强度达到空气击穿场强 ( $25 \sim 30 \text{ kV/cm}^2$ ) 时, 就产生强烈的碰撞游离, 形成指向大地的一段导电通道, 称为雷电先导。先导放电不是连续向下发展的, 而是一段接着一段地向前推进。先导的电晕半径约为 0.6~6m, 相应于下行先导的电流为 100A。

##### (2) 迎面先导

当先导接近地面时, 会从地面较突出的部分发出向上的迎面先导。

##### (3) 主放电

当迎面先导与下行先导的一支相遇时, 就产生了强烈的“中和”过程, 出现极大的电流 (数十到数百千安), 这就是雷电的主放电阶段, 伴随着出现雷鸣和闪光。主放电存在的时间极短, 约为  $50 \sim 100 \mu\text{s}$ 。主放电的过程是逆着负先导的通道由下向上发展的, 速度约为光速  $c$  的  $1/20 \sim 1/2$ , 离开

地面越高则速度越小, 平均约  $0.175c$ 。

##### (4) 余辉放电

主放电到达云端时就结束了, 然后云中的残余电荷经过刚才的主放电通道流下来, 称为余辉阶段。由于云中的电阻较大, 和余辉阶段对应的电流不大 (约数百安), 持续的时间也较长 ( $0.03 \sim 0.15 \text{ s}$ )。

##### (5) 下行雷

最常见的雷电是自雷云向下开始发展先导放电的, 称为下行雷。

##### (6) 上行雷

当地面有高耸的突出物时, 不论正负雷云都有可能先出现由突出物上行的先导, 这种雷叫上行雷。地面的突出物越高, 则产生上行雷的概率就愈大。无论正的还是负的上行先导, 在先导到达雷云时, 大部分并无主放电过程发生, 这是由于雷云的导电性能不像大地那样好, 除非上行先导碰到密集电荷区, 否则一般难以在极短时间内供应为高速“中和”先导电荷所必需的极大的主放电电流, 而只能出现缓慢的放电过程。此时, 其放电电流一般为数百安, 而且持续时间很长, 可达  $0.1 \text{ s}$ 。

#### 1.3 雷击的选择性

雷击具有偶然性, 但也有一定的规律。易于形成雷云是产生雷击的必备条件。此外, 当具备易于形成雷电通道或易于引起先导放电电场的畸变时, 就有可能落雷。

1) 潮湿高温气候, 或冷热气团交界处, 使热空气急剧上升, 形成雷云, 因此雷电活动常在春夏之交及夏天、我国北纬  $23^\circ$  以南地区发生。

2) 因为雷电通道总是沿着电阻最小的路径发展, 因此在土中电阻率低的地方易于落雷。例如: 具有地下矿藏的地区、河滩地、地下水出口处、地下水位较高的地方、低洼地, 或在土壤电阻率不同的交界面上。此外内部存放有大量金属或具有大量金属机床等的建筑物, 也往往容易遭受雷击。

3) 在旷野中的建筑物以及建筑群中特别高的建筑物 (如烟囱等), 由于其孤立突出, 它的电场强度大于地面, 在先导电流接近时, 会因突出处电场的畸变, 而将先导放电引向自身, 所以这些建筑物易遭受雷击。

4) 当山上风化层较厚、自山顶到山脚都有覆土层, 长满了树木和杂草, 水分丰富时, 山顶最易遭受雷击。

5) 整座山是岩石, 山脚覆土层较山顶山腰厚时, 山脚容易遭受雷击, 特别是山脚与稻田相接处更容易落雷。

6) 在山区的地质发生变化时, 出现了不同的岩石地带, 在水成岩与火成岩交界处落雷机会最多, 其次是火成岩地带, 水成岩地带落雷机会最小。

7) 位于水库、山脊或山腰上孤立的建筑物及迎风面的建筑物也容易遭受雷击。

#### 1.4 雷击的部位

1) 平屋面或坡度不大于  $1/10$  的屋面: 檐角、女儿墙、

屋檐,如图 12.2-2 (a)、(b) 所示。

2) 坡度大于 1/10 且小于 1/2 的屋面:屋角、屋脊、檐角、屋檐,如图 12.2-2 (c) 所示。

3) 坡度不小于 1/2 的屋面:屋角、屋脊、檐角,如图 12.2-2 (d) 所示。

4) 对于图 12.2-2 (c) 和 (b),在屋脊有避雷带的情况下,当屋檐处于屋脊避雷带的保护范围内时,屋檐上可不设避雷带。

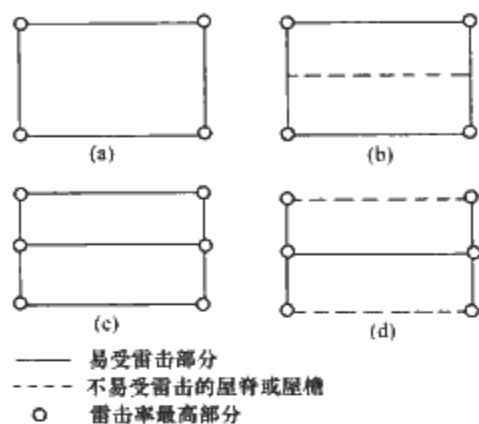


图 12.2-2 建筑物易受雷击的部位  
(a) 平屋面; (b) 坡度不大于 1/10 的屋面; (c) 坡度大于 1/10 且小于 1/2 的屋面; (d) 坡度不小于 1/2 的屋面

### 1.5 雷电参数

(1) 雷暴日 ( $T_d$ ) 及雷暴小时 ( $T_h$ )

雷暴日或雷暴小时是用来表征某地区雷电活动强度的。在一天中只要听到雷声就算作一个雷暴日。同样,在一小时内听到雷声就算一个雷暴小时。一年内雷暴日的总数或雷暴小时的总数叫做雷暴日数或雷暴小时数(简称雷暴日或雷暴小时)。我国把年平均雷暴日不超过 15 天的地区叫少雷区,超过 15 天但不超过 40 天的地区叫中雷区,超过 40 天但不超过 90 天的地区叫多雷区,超过 90 天的地区或根据运行经验雷害特别严重的地区叫强雷区。

(2) 雷电流幅值

我国在年平均雷暴日大于 20 天的地区测得的雷电流幅值  $I$  的概率可用下式表示

$$\lg P = -\frac{I}{88} \quad (12.2-1)$$

在年平均雷暴日为 20 天及以下的地区,即除陕南以外的西北地区及内蒙古自治区的部分地区,雷电流的概率可用下式表示

$$\lg P = -\frac{I}{44} \quad (12.2-2)$$

式中,  $P$  为雷电流超过  $I$  (kA) 的概率。

(3) 雷电流波形和最大陡度

经过标准化后的雷电流波形图如图 12.2-3 所示。

图中波长  $\tau$  值大致在  $40\mu\text{s}$  左右,波头  $\tau_1$  值大致为  $1\sim 4\mu\text{s}$ ,平均在  $2.6\mu\text{s}$ 。我国在直击雷防雷设计中采取  $\tau_1/\tau = 2.6/40\mu\text{s}$  的波形。

雷电流的波头陡度(简称雷电流陡度)和雷电流幅值密切相关。根据实测结果,二者的相关系数为  $r = + (0.60 \sim 0.64)$ 。我国规程取波头  $\tau_1 = 2.6\mu\text{s}$ ,所以雷电流的平均上升陡度(单位:  $\text{kA}/\mu\text{s}$ ) 为

$$\frac{I}{\tau_1} = \frac{I}{2.6} \quad (12.2-3)$$

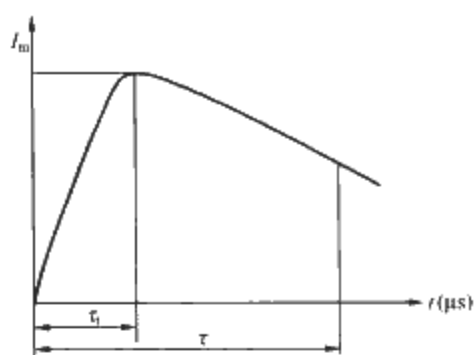


图 12.2-3 雷电流波形图

### 1.6 雷电效应及其危害

(1) 引燃效应

雷电放电通道的温度可达数万度,它碰到可燃物时,虽然持续的时间只有几十微秒,也能够使后者燃烧。

(2) 热效应

当雷电流通过导体时,会产生大量热能,造成易燃物燃烧,或由于金属熔化、飞溅而引起火灾和爆炸事故。

(3) 生理效应

当雷电流通过心脏时,会造成心脏或大脑麻痹而致死;或因雷电流通过人体或动物时,使肌肉突然收缩,人因此而跌倒并受重伤,甚至立即或过后不久死亡。

(4) 机械效应

当物体遭到雷击,雷电流通过被击物时,被击物缝隙中的气体和水在雷电流的作用下会剧烈蒸发和急剧膨胀,从而导致被击物破坏或爆炸。

(5) 瞬态电位升高

在雷击避雷针时(见图 12.2-4),针上离被保护物最近、高度为  $h$  的 A 点的电位

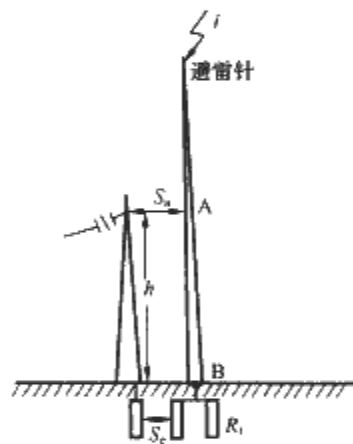


图 12.2-4 雷击避雷针

$U_A$  和接地装置上 B 点的电位  $U_B$  将分别为

$$U_A = iR_i + L_0 h \frac{di}{dt} \quad (12.2-4)$$

$$U_B = iR_i \quad (12.2-5)$$

式中,  $L_0$  为避雷针单位长度的电感;  $R_i$  为避雷针的接地电阻。

(6) 静电感应作用

如图 12.2-5 所示,设针体 N 点附近有孤立导体 P,当雷击避雷针而使针体 N 点的电位抬高  $U_N$  时,在高电位电场

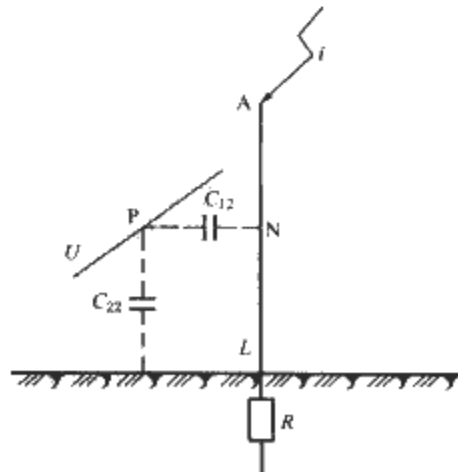


图 12.2-5 雷击接地导线产生的静电感应过电压

的作用下,在针体附近有限长的孤立导体P上将出现静电感应过电压 $U_j$ ,其值为

$$U_j = U_N \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{22}} \quad (12.2-6)$$

#### (7) 电磁感应作用

针体附近存在开口环(见图12.2-6)时,则雷击避雷针时雷电流 $i$ 在避雷针周围形成的磁场将使开口环的开口处出现电磁感应过电压 $U_{ei}$ ,其值为

$$U_{ei} = M \frac{di}{dt} = \left( 0.2c \ln \frac{a+b}{a} \right) \frac{di}{dt} \quad (12.2-7)$$

则当 $a=b=1\text{m}$ ,  $c=10\text{m}$ ,  $I=100\text{kA}$ 时,  $U_{ei}$ 可达

$$U_{ei} = (0.2 \times 10 \ln 2) \times \frac{100}{2.6} = 53.3\text{kV}$$

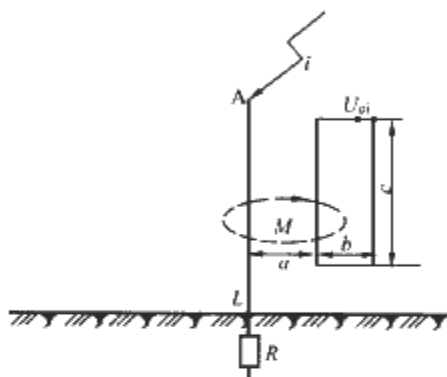


图 12.2-6 雷击接地导线产生的电磁感应过电压

此值可使空气间隙击穿,从而使油气或爆炸物起火爆炸。

#### (8) 电磁波作用

雷虽然不是直接击于建筑物,但是击于配电线路的雷电可沿电线以电磁波的形式传入建筑物,对低压电气设备及信息系统造成严重危害。

## 2 建筑物的直击雷防护

### 2.1 建筑物年预计雷击次数

1) 建筑物年预计雷击次数应按下列公式确定

$$N = k N_g A_e \quad (12.2-8)$$

式中,  $N$  为建筑物年预计雷击次数,次/年;  $k$  为校正系数,在一般情况下取1,在下列情况下取相应数值:位于旷野孤立的建筑物取2,金属屋面的砖木结构建筑物取1.7,位于河边、湖边、山坡下或山地中土壤电阻率较小处、地下水露头处、土山顶部、山谷风口等处的建筑物,以及特别潮湿的建筑物取1.5;  $N_g$  为建筑物所处地区雷击大地的年平均密度,次/( $\text{km}^2 \cdot \text{年}$ );  $A_e$  为与建筑物截收相同雷击次数的等效面积,  $\text{km}^2$ 。

2) 雷击大地的年平均密度应按下列公式确定

$$N_g = 0.24 T_d^{1.3} \quad (12.2-9)$$

式中,  $T_d$  为年平均雷暴日,根据当地气象台、站资料确定,天/年。

3) 建筑物等效面积  $A_e$  应为其实际面积向外扩大后的面积(图12.2-7中周边虚线所包围的面积)。其计算方法应符合下列规定:当建筑物的高度  $H$  小于100m时,其每边的扩大宽度  $D$  和等效面积  $A_e$  应按下列公式计算确定

$$D = \sqrt{H(200-H)} \quad (12.2-10)$$

$$A_e = [LW + 2(L+W) \sqrt{H(200-H)} + \pi H(200-H)] \times 10^{-6} \quad (12.2-11)$$

式中,  $D$  为建筑物每边的扩大宽度, m;  $L$ 、 $W$ 、 $H$  分别为建筑物的长、宽、高, m。

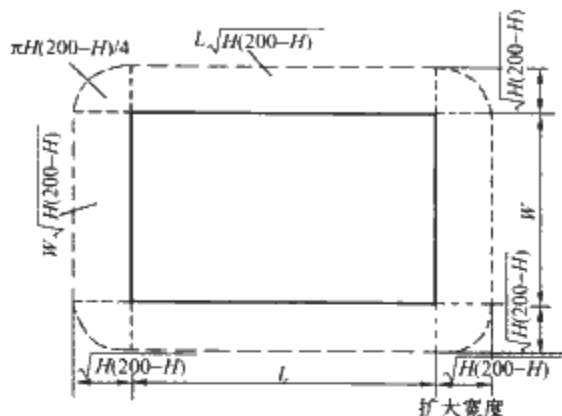


图 12.2-7 建筑物的等效面积

4) 当建筑物的高度  $H \geq 100\text{m}$  时,其每边的扩大宽度应按等于建筑物的高度  $H$  计算;建筑物的等效面积应按下列公式确定

$$A_e = [LW + 2(L+W)H + \pi H^2] \times 10^{-6} \quad (12.2-12)$$

5) 当建筑物各部位的高度不同时,应沿建筑物周边逐点算出最大扩大宽度,其等效面积应按每点最大扩大宽度外端的连接线所包围的面积计算。

### 2.2 防雷分类

建筑物应根据其重要性、使用性质、发生雷电事故的可能性和后果,按防雷要求分为以下三类。

(1) 第一类防雷建筑物(下列情况之一者)

1) 凡制造、使用或储存炸药、火药、起爆药、火工品等大量爆炸物质的建筑物,因电火花而引起爆炸,会造成巨大破坏和人身伤亡者。

2) 具有0区或10区爆炸危险环境的建筑物。

3) 具有1区爆炸危险环境的建筑物,因电火花而引起爆炸,会造成巨大破坏和人身伤亡者。

(2) 第二类防雷建筑物(下列情况之一者)

1) 国家级重点文物保护的建筑物。

2) 国家级会堂、办公建筑物、大型展览和博览建筑物、大型火车站、国宾馆、国家级档案馆、大型城市的重要给水水泵房等特别重要的建筑物。

3) 国家级计算中心、国际通信枢纽等对国民经济有重要意义且装有大量电子设备的建筑物。

4) 制造、使用或储存爆炸物质的建筑物,且火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者。

5) 具有1区爆炸危险环境的建筑物,且火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者。

6) 具有2区或11区爆炸危险环境的建筑物。

7) 工业企业内有爆炸危险的露天钢质封闭气罐。

8) 预计雷击次数大于0.06次/年的部、省级办公建筑物及其他重要或人员密集的公共建筑物。

9) 预计雷击次数大于0.3次/年的住宅、办公楼等一般性民用建筑物。

(3) 第三类防雷建筑物(下列情况之一者)

1) 省级重点文物保护的建筑物及省级档案馆。

2) 预计雷击次数大于或等于0.012次/年且小于或等于0.06次/年的部、省级办公建筑物及其他重要或人员密集的

公共建筑物。

3) 预计雷击次数大于或等于 0.06 次/年, 且小于或等于 0.3 次/年的住宅、办公楼等一般性民用建筑物。

4) 预计雷击次数大于或等于 0.06 次/年的一般性工业建筑物。

5) 根据雷击后对工业生产的影响及产生的后果, 并结合当地气象、地形、地质及周围环境等因素, 确定需要防雷的 21 区、22 区、23 区火灾危险环境。

6) 在平均雷暴日大于 15 天/年的地区, 高度在 15m 及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物; 在平均雷暴日小于或等于 15 天/年的地区, 高度在 20m 及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物。

需要说明的是, 一般民用建筑物大部分均属于二类或三类防雷建筑物。

## 2.3 防直击雷装置

### (1) 避雷针及避雷线(带)

常用的防直击雷装置是避雷针(线)。它是由导体制成的, 比被保护设备高, 且具有良好接地的装置。避雷针的作用是靠它对雷云电场引起的畸变来吸引雷电, 并将其安全导入地中, 从而保护了附近比它矮的设备和建(构)筑物使之不受雷击。避雷针包括三部分: 接闪器、引下线和接地体。

1) 接闪器。可由独立避雷针、架空避雷线或架空避雷网, 直接装设在建筑物上的避雷针、避雷带或避雷网等形式中的一种或多种组成。

2) 避雷针。宜采用圆钢或焊接钢管制成, 其直径应不小于下列数值:

① 针长 1m 以下时, 圆钢为 12mm, 钢管为 20mm。

② 针长 1~2m 时, 圆钢为 16mm, 钢管为 25mm。

③ 烟囱顶上的针, 圆钢为 20mm, 钢管为 40mm。

3) 避雷网和避雷带宜采用圆钢或扁钢, 优先采用圆钢。圆钢直径应不小于 8mm。扁钢截面应不小于 48mm<sup>2</sup>, 其厚度应不小于 4mm。

4) 架空避雷线和避雷网宜采用截面积不小于 35mm<sup>2</sup> 的镀锌钢绞线。

5) 除利用混凝土构件内钢筋作接闪器外, 接闪器应热镀锌或涂漆。在腐蚀性较强的场所, 应采用加大其截面或其他防腐措施。

6) 不得利用安装在接收无线电视广播的共用天线的杆顶上的接闪器保护建筑物。

### (2) 引下线

1) 引下线宜采用圆钢或扁钢, 优先采用圆钢。圆钢直径应不小于 8mm。扁钢截面应不小于 48mm<sup>2</sup>, 其厚度不应小于 4mm。

2) 当烟囱上的引下线采用圆钢时, 其直径应不小于 12mm; 采用扁钢时, 其截面应不小于 100mm<sup>2</sup>, 厚度应不小于 4mm。

3) 引下线应沿建筑物外墙明敷, 并经最短路径接地; 建筑艺术要求较高者可暗敷, 但其圆钢直径应不小于 10mm, 扁钢截面应不小于 80mm<sup>2</sup>。

4) 建筑物的消防梯、钢柱等金属构件宜作为引下线, 但其各部件之间均应连成电通路。

5) 采用多根引下线时, 宜在各引下线上距地面 0.3m 至 1.8m 之间装设断接卡。

6) 在易受机械损坏和防人身接触的地方, 地面上 1.7m

至地下 0.3m 的一段接地线应采取暗敷或镀锌角钢、改性塑料管或橡胶管等保护措施。

### (3) 防雷接地

1) 接地体通常指直接埋入土中的金属导体。

2) 防雷保护的关键是把雷电能量安全导入大地, 因此防雷是和接地密切相关的。直击雷防护用的避雷针和侵入波保护用的避雷器都需要接地, 这种以把强大的雷电流安全导入大地为目的的接地称为防雷接地。防雷接地所要求的接地电阻值通常在 1~30Ω 的范围内。

3) 直流(或工频)电流  $I$  经接地体流入大地时, 接地体和无穷远处零位面之间的电压  $U$  和  $I$  的比值称为接地体的工频接地电阻  $R_d$ 。雷电流(冲击电流)流过时的电阻, 称为冲击接地电阻  $R_i$ 。 $R_i/R_d$  之比叫接地体的冲击系数  $\alpha$ , 其值一般小于 1, 但当接地体的长度太大时也可能大于 1。

4) 埋于土壤中的人工垂直接地体宜采用角钢、钢管或圆钢; 埋于土壤中的人工水平接地体宜采用扁钢或圆钢。圆钢直径应不小于 10mm; 扁钢截面应不小于 100mm<sup>2</sup>, 其厚度应不小于 4mm; 角钢厚度应不小于 4mm; 钢管壁厚应不小于 3.5mm。在腐蚀性较强的土壤中, 应采用热镀锌等防腐措施或加大截面。

5) 人工垂直接地体的长度宜为 2.5m。人工垂直接地体间的距离及人工水平接地体间的距离宜为 5m, 当受地方限制时可适当减小。

6) 人工接地体在土壤中的埋设深度应不小于 0.5m。接地体应远离由于砖窑、烟道等高温影响使土壤电阻率升高的地方。

7) 在高土壤电阻率地区, 可采用深埋(将接地体埋于较深的低电阻率土壤中)或采用降阻剂及换土等措施来降低接地电阻。亦可采用多支线外引接地装置, 外引长度不应大于有效长度。

8) 当接地体长度达到一定值后, 再增加其长度, 接地电阻不再下降, 这个长度叫做伸长接地体的有效长度, 一般在 40~60m。接地体的有效长度应按式(12.2-13)确定

$$l_e = 2\sqrt{\rho} \quad (12.2-13)$$

式中,  $l_e$  为接地体的有效长度, 按图 12.2-8 计量, m;  $\rho$  为敷设接地体处的土壤电阻率,  $\Omega \cdot m$ 。

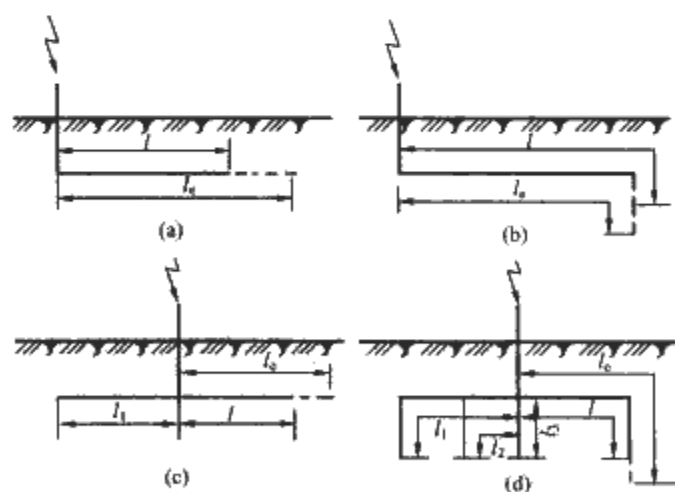


图 12.2-8 接地体有效长度的计量

(a) 单根水平接地体; (b) 末端接垂直接地体的单根水平接地体; (c) 多根水平接地体,  $l_1 \leq l_2$ ; (d) 接多根垂直接地体的多根水平接地体,  $l_1 \leq l_2 \leq l_3 \leq l$

在防雷计算中所用到的是雷电流作用下的冲击接地电阻  $R_i$ 。由于雷电流的幅值很大(数十千安), 接地体的电位很高, 其周围土壤中的电场强度可大大超过土壤的耐压强度( $8.5 \times 10^3 V/cm$  左右), 从而产生强烈的火花放电。实验表

明,当单根水平接地体的电位为1000kV时,火花放电区域的直径可达70cm,这一效应将使接地体的冲击接地电阻大大减小。另一方面,由于雷电流的频率很高,在雷电流流经接地体时接地体的电感将呈现较大的阻碍雷电流流通的作用,这一效应将使接地体,特别是伸长接地体(其电感较大),在雷电流下呈现较大的冲击接地电阻。可见,当接地装置单根接地体的长度 $l$ 上升时, $\alpha$ 上升很快。这是因为,雷电流沿接地体流动的同时,还会向周围土壤流散,土壤电阻率愈低流散得愈快,到一定距离后,当接地体上不再有电流流过时,接地体就不起作用了。为了使接地体能得到有效利用,每根接地体的最大长度 $l_{\max}$ 不宜超过表12.2-1中的值。

表 12.2-1 每根接地体最大长度  $l_{\max}$ 

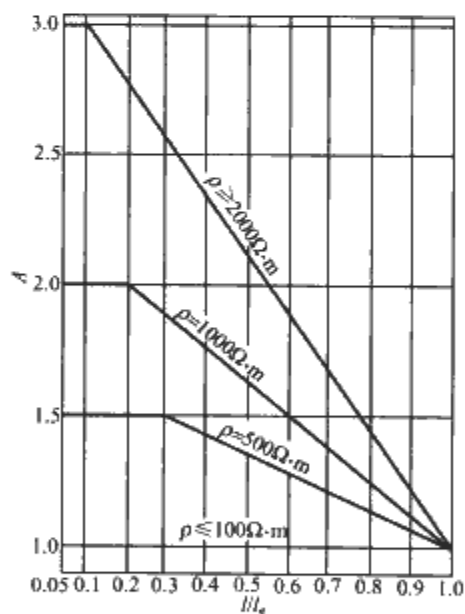
$\rho$ ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	$\leq 500$	$\leq 2000$	$\leq 5000$
每根接地体最大长度 $l_{\max}$ (m)	40	80	100

因此,在冲击电流下,接地体的接地电阻不是一个常数。通常将接地体上冲击电位的最大值 $U_{\max}$ 对流入接地体的冲击电流的最大值 $I_{\max}$ 之比定义为冲击接地电阻 $R_i$ 。由于电感的作用,电压与电流最大值出现的时刻一般是不同的,我们之所以人为地取两者之比作为 $R_i$ ,是因为这种定义可为使用带来方便:只要知道雷电流的幅值 $I_{\max}$ ,则由 $I_{\max}$ 、 $R_i$ 即可求得接地体上的 $U_{\max}$ 。

冲击接地电阻与工频接地电阻的换算应按式确定

$$R_d = AR_i \quad (12.2-14)$$

式中, $R_d$ 为接地体各支线的长度取值小于或等于接地体的有效长度 $l_e$ ,或者有支线大于 $l_e$ 而取其等于 $l_e$ 时的工频接地电阻, $\Omega$ ;  $A$ 为换算系数,其数值宜按图12.2-9确定; $R_i$ 为所要求的接地装置的冲击接地电阻, $\Omega$ 。

图 12.2-9 换算系数  $A$ 

注: $l$ 为接地体最长支线的实际长度,其计量与 $l_e$ 类同。当它大于 $l_e$ 时,取其等于 $l_e$ 。

## 2.4 避雷针(线)的保护范围

### (1) 避雷针(线)的保护范围

是指避雷针(线)近旁的部分空间,在此空间范围内遭受雷直击的概率极小,屏蔽失效率或绕击率一般不超过0.1%。可见,保护范围不是绝对保险的,而是相对于某一保护概率而言。

### (2) 滚球法

是将一个半径为 $h_r$ 的球体沿避雷针及其附近的地面和空间滚动,当球体只触及接闪器(包括被利用作为接闪器的金属物),或只和地面(包括与大地接触并能承受雷击的金属物),而不触及需要保护的部位时,则该部分就得到接闪器的保护。即凡是球体不能占据的那个部位即为避雷针的保护范围。滚球的半径 $h_r$ 按表12.2-2确定。

表 12.2-2 滚球半径

建筑物防雷类别	滚球半径 $h_r$ (m)
第一类防雷建筑物	30
第二类防雷建筑物	45
第三类防雷建筑物	60

### (3) 单支避雷针的保护范围

按滚球法决定的单支避雷针的保护范围如图12.2-10所示,可按下列法得出。

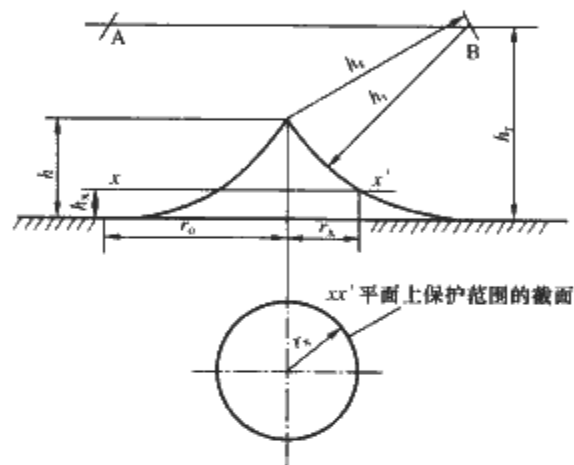


图 12.2-10 GB 50057—1994 规定的单支避雷针的保护范围

当避雷针的高度 $h \leq h_r$ 时,可先在距地面 $h_r$ 处作一平行于地面的平行线;然后以针尖为圆心, $h_r$ 为半径作弧线,交平行线于A、B两点;再以A、B为圆心、 $h_r$ 为半径作弧线,该弧线与针尖相交并与地面相切。此弧线就决定了避雷针的保护范围。显见保护范围也是一个旋转圆锥体,其在高度为 $h_r$ 的 $xx'$ 平面上的保护半径以及地面的保护半径 $r_x$ 和 $r_0$ 可分别按下式确定

$$r_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)} \quad (12.2-15)$$

$$r_0 = \sqrt{h(2h_r - h)} \quad (12.2-16)$$

当避雷针的高度 $h > h_r$ 时,距地面 $h_r$ 的平行线将与避雷针相交,因此避雷针的有效高度只能按 $h_r$ 考虑,其高出 $h_r$ 的部分对避雷针的保护范围不再起到作用。

### (4) 双支等高避雷针的保护范围

图12.2-11是由滚球法决定的双支等高避雷针的保护范围。两针外侧的保护范围与单针时一样,两针间保护范围的上边线是以中心线距地面 $h_r$ 的一点 $O'$ 为圆心,以 $\sqrt{(h_r - h)^2 + (D/2)^2}$ 为半径所作的圆弧AB。地面的保护范围由两个单支避雷针在地面上的保护半径 $r_0$ 为半径的圆相交组成。两圆相交于E、C两点。在确定 $xx'$ 平面上的保护范围时,可先以单支避雷针在 $xx'$ 平面上的保护半径 $r_x$ 为半径,以A、B为圆心作弧线与四边形AEBC相交;再以单支避雷针的 $(r_0 - r_x)$ 为半径,以E、C为圆心作弧线与上述弧线相接。显然要使两针构成联合保护,必须有 $D < 2\sqrt{h(2h_r - h)}$ 。

### (5) 单根避雷线的保护范围

当避雷线高度 $h \geq 2h_r$ 时,无保护范围。当避雷线高度



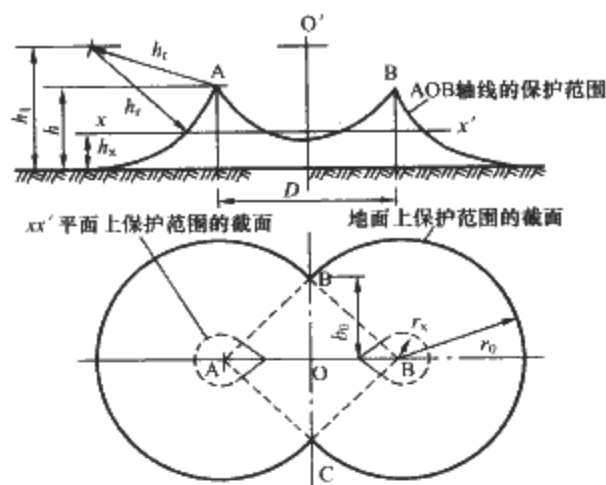


图 12.2-11 双支等高避雷针的保护范围

$h < 2h_r$  时, 可按图 12.2-12 所示确定单根避雷针的保护范围: 在距地面  $h_r$  处作一平行于地面的平行线; 然后以避雷针为圆心,  $h_r$  为半径, 作弧线交平行线于 A、B 两点; 再以 A、B 为圆心、 $h_r$  为半径作弧线, 该两弧线相交或相切 (当  $h = h_r$  时), 并与地面相切。从该弧线起到地面止就是避雷针的保护范围。

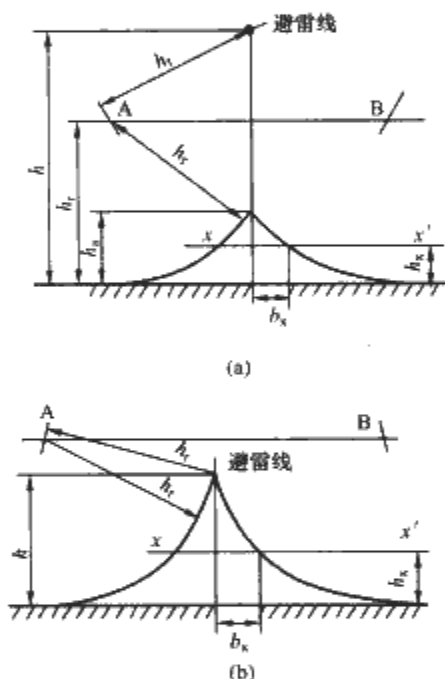


图 12.2-12 单根避雷针的保护范围  
(a) 当  $h_r < h < 2h_r$  时; (b) 当  $h \leq h_r$  时

当  $h_r < h < 2h_r$  时, 保护范围最高点的高度  $h_0$  为

$$h_0 = 2h_r - h \quad (12.2-17)$$

可见, 当  $h \leq h_r$  时, 保护范围的最高点即为  $h$ 。  
避雷针在  $h_x$  高度的  $xx'$  平面上的保护宽度  $b_x$  为  
当  $h_r < h \leq 2h_r$  时

$$b_x = \sqrt{h_0(2h_r - h_0)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)} \quad (12.2-18)$$

当  $h \leq h_r$  时

$$b_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)} \quad (12.2-19)$$

避雷线两端的保护范围按单支避雷针的方法确定。

#### (6) 两根等高避雷线的保护范围

1) 避雷线高度  $h \leq h_r$  时, 当  $D \geq 2\sqrt{h(2h_r - h)}$  时, 各按单根避雷线所规定的方法确定。当  $D < 2\sqrt{h(2h_r - h)}$  时, 两避雷线间保护范围按图 12.2-13 (a) 所示方法确定: 以 A、B 两避雷线为圆心, 以  $h_x$  为半径作圆弧交于 O 点, 以 O 点为圆心、 $h_x$  为半径作圆弧交于 A、B 点。避雷线两侧的保护范围则各按单根避雷线的方法确定。两避雷线之间

保护范围最低点的高度  $h_0$  按下式计算

$$h_0 = \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} + h - h_r \quad (12.2-20)$$

避雷线两端的保护范围按双支避雷针的方法确定, 在中线上  $h_0$  线内的位置按图 12.2-13 (b) 所示方法确定: 以双支避雷针所确定的保护范围中点最低的高度  $h'_0 = h_r - \sqrt{(h_r - h)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}$  作为假想避雷针, 将其保护范围的延长弧线与  $h_0$  线交于 E 点。内移位置的距离  $x$  也可按下式计算

$$x = \sqrt{h_0(2h_r - h_0)} - b_0 \quad (12.2-21)$$

式中,  $b_0$  按图 12.2-13 (b) 确定。

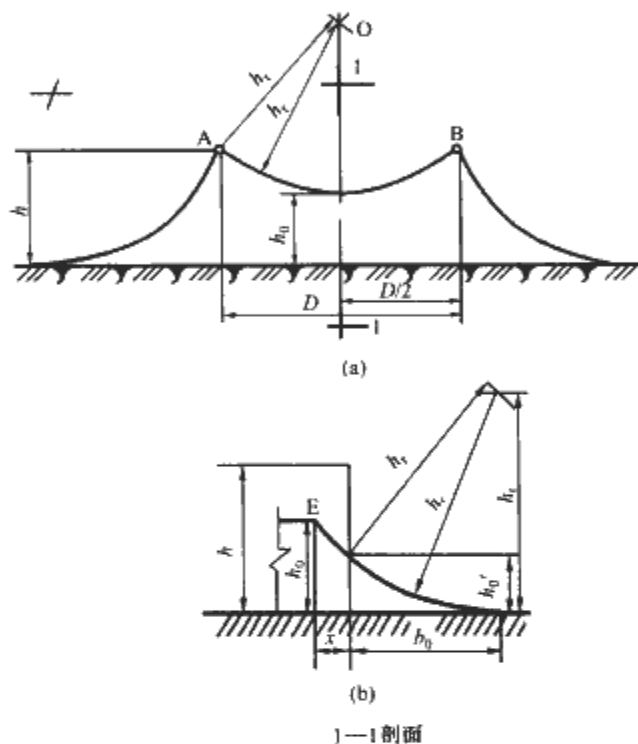


图 12.2-13 两根等高避雷线在  
 $h \leq h_r$  时的保护范围

(a) 两避雷保护范围; (b) 在中线上  $h_0$  线内的位置

2) 避雷线高度  $h$  大于  $h_r$  但小于  $2h_r$ 、避雷线之间的距离  $D$  大于  $2[h_r - \sqrt{h(2h_r - h)}]$  但小于  $2h_r$  时, 两避雷线间保护范围按图 12.2-14 (a) 所示方法确定: 距地面  $h_r$  处作一与地面平行的线; 分别以避雷线 A、B 为圆心,  $h_r$  为半径作弧线交于 O 点并与平行线相交或相切于 C、E 点; 以 O 点为圆心、 $h_r$  为半径作弧线交于 A、B 点; 以 C、E 点为圆心、 $h_r$  为半径作弧线交于 A、B 并与地面相切; 两避雷线之间保护范围最低点的高度  $h_0$  按式 (12.2-19) 计算; 最小保护宽度  $b_m$  位于  $h_r$  高处, 其值按下式计算

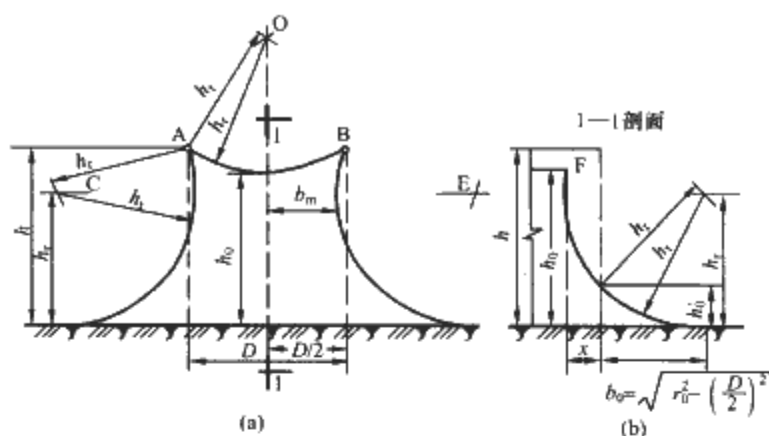
$$b_m = \sqrt{h(2h_r - h)} + \frac{D}{2} - h_r \quad (12.2-22)$$

避雷线两端的保护范围按双支高度为  $h_r$  的避雷针确定, 在中线上  $h_0$  线内的内移位置按图 12.2-14 (b) 所示方法确定: 以双支高度为  $h_r$  的避雷针所确定的保护范围中点最低的高度  $h'_0 = h_r - \frac{D}{2}$  作为假想避雷针, 将其保护范围的延长弧线与  $h_0$  线交于 F 点。内移位置的距离  $x$  也可按下式计算

$$x = \sqrt{h_0(2h_r - h_0)} - \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \quad (12.2-23)$$

#### (7) 避雷针 (线) 的固有缺陷

避雷针虽能把雷电流引向自身, 但不能对雷电流的幅值和上升陡度加以限制, 所以在安装避雷针后仍然有可能发生严重的直击雷害事故。

图 12.2-14 避雷线高度  $h_r < h \leq 2h_r$  时,

两根等高避雷线的保护范围

(a) 避雷针间保护范围; (b) 中线上  $h_0$  线内移位置

1) 关于反击问题。当雷电流通过引下线和接地装置入地时, 会在接地引下线和接地电阻上形成很高的电位升高。当避雷针和被保护物间的空气间隙  $S_0$  不够大时, 避雷针上的高电位  $U_A$  可击穿空气间隙而将高压位传递到被保护物上, 即产生反击现象。

2) 关于接触电压和跨步电压的问题。当雷击避雷针或杆塔时, 如果有人站在地面上用手去接触塔身或引下线时, 作用在人的手和脚间的电压 (称为接触电压) 可达很高的数值, 会危及人的生命。又由于雷电流在地中扩散时会在地面沿半径各点形成不同的电位, 当人在附近行走时, 人的两脚间将会有电压作用 (称为跨步电压), 对人也有危险。避雷针附近的危险区半径  $r$  可按按下法进行估算。

如图 12.2-15 所示, 设雷击电流为  $I$ , 则可算出在地中离避雷针距离为  $r$  处的雷电流密度为

$$J = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (12.2-24)$$

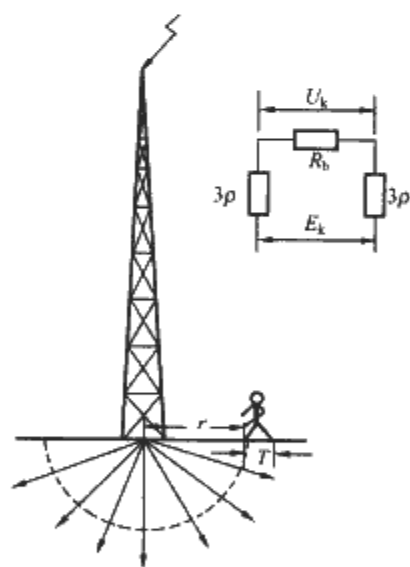


图 12.2-15 人体所受跨步电压的计算

在该处地面形成的电场强度则为

$$E = J\rho = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \quad (12.2-25)$$

设人的跨步距离为  $T$ , 则人在该处行走时所受到的跨步电势为

$$E_k \approx \frac{I\rho T}{2\pi r^2} \quad (12.2-26)$$

取人每只脚与地面间的接触电阻为  $3\rho$  ( $\rho$  为土壤电阻率), 设人体电阻为  $R_b$ , 则人体电阻及两脚与地面间的接触

电阻之和为  $R_b + 6\rho$ 。由此可求出人体两脚间所受的实际电压, 即跨步电压为

$$U_k = \frac{R_b}{R_b + 6\rho} E_k = \frac{R_b}{R_b + 6\rho} \frac{I\rho T}{2\pi r^2} \quad (12.2-27)$$

由于跨步电压的作用而流过人体的电流则为

$$I_b = \frac{I\rho T}{2\pi r^2 (R_b + 6\rho)} \quad (12.2-28)$$

在雷电冲击 (波长约  $40\mu s$ ) 下, 人体安全电流可取为  $10A$ 。令上式中的  $I_b = 10A$ , 即可求出避雷针附近跨步危险区的半径为

$$r = \sqrt{\frac{I\rho T}{2\pi (R_b + 6\rho) \times 10}} \quad (12.2-29)$$

取人的跨步  $T = 0.8m$ , 人体的电阻  $R_b = 1500\Omega$ ,  $I = 100kA$ ,  $\rho = 100\Omega \cdot m$ , 代入上式可得

$$r = \sqrt{\frac{100 \times 10^3 \times 100 \times 0.8}{2\pi (1500 + 6 \times 100) \times 10}} = 7.7m$$

显然这是最严重的情况。如果人的跨步不是沿半径方向, 则条件可放宽些, 为此 DL/T 621—1997 规定: “避雷针及其接地装置与道路或出入口的距离不宜小于  $3m$ ”。

3) 关于高电位引入问题。如果在避雷针的杆塔上有低压线或通信线, 则针体的高电位将沿这些线路传入相应的低压设备或通信设施, 造成严重的雷害事故。

4) 关于感应的问题。雷击避雷针时, 雷电流  $I$  将在避雷针周围形成磁场。各种微电子设备 (包括计算机) 所用大规模集成电路块, 对这种雷电的电磁感应十分敏感。实验表明, 当雷电流形成的磁场强度达  $2.4 \times 10^{-4} T$  ( $2.4G$ ) 时, 就可以使一般微电子设备发生永久性损坏; 即使磁场强度降至  $0.07 \times 10^{-4} T$  ( $0.07G$ ), 也还能造成它们的误动作。可以算出, 当避雷针流过的雷电流为  $100kA$  时, 在其周围  $83m$  之内磁场强度将超过  $2.4 \times 10^{-4} T$ , 即在此范围内的微电子设备将会损坏, 而  $860m$  处的磁场强度还可达  $0.07 \times 10^{-4} T$ , 即距针  $860m$  处的微电子设备还能误动。即使在有门窗的机房四壁施加金属网屏蔽, 其屏蔽效果也是不大的。这对处于微波机房内的微电子设备是一个很大的威胁。

## 2.5 其他类型的防直击雷装置介绍

减少或防止直击雷害的有效方法需立足于降低雷击的次数或在受雷击时设法限制雷电流的幅值及其陡度。限流避雷针及半导体消雷器是一种能降低雷电流幅值和陡度的新型防直击雷装置。

### (1) 限流避雷针

图 12.2-16 所示为一种限流避雷针, 它能够有效抑制高层建筑物向上发展的上行雷的形成; 延缓雷击放电时间, 有效地将雷击主放电电流幅值和陡度限制到  $50\% \sim 80\%$  左右, 提高被保护物耐雷水平。保护角为  $45^\circ$ 。

### (2) 半导体消雷器

是一种能降低雷电流幅值和陡度的新型防直击雷装置。它由  $5 \sim 19$  根半导体针组成, 向上呈辐射状布置在数个垂直交叉的扇面上, 同一扇面相邻两针间的夹角为  $20^\circ \sim 25^\circ$ 。每根半导体针长约  $5m$ , 针体电阻为  $35k\Omega$ , 单针闪络电压在  $1500kV$  以上。每根针端部有 4 根  $30cm$  长的金属针。半导体消雷器可安装在高塔或建筑物的顶

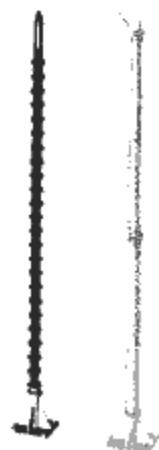


图 12.2-16 限流避雷针

部。图 12.2-17 是 9 针消雷器的外形。

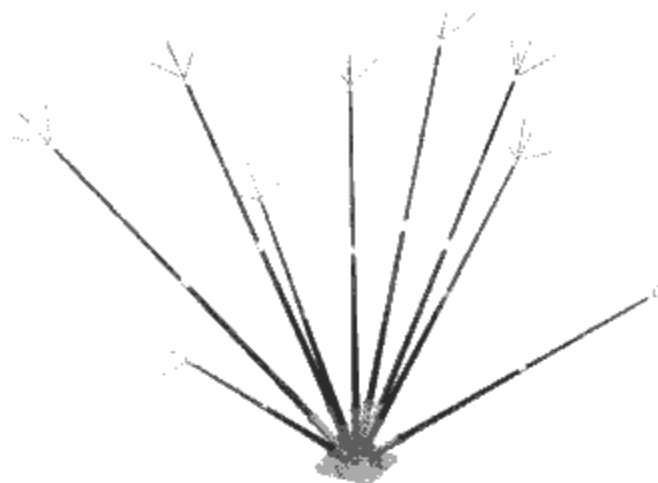


图 12.2-17 9 针半导体消雷器

半导体消雷器的作用是：

- 1) 靠尖端放电产生的异号电荷中和雷云中的电荷以消减部分下行雷击。
- 2) 靠半导体针电阻的限流作用阻碍上行先导的发展以消灭向上发展的雷电。
- 3) 靠半导体针的电阻限制那些来不及中和的下行雷的雷电流幅值和陡度，大幅度削弱其危害。
- 4) 靠端头的特殊形状来增强对下行雷的吸引能力，靠尖端放电所产生的空间电荷的屏蔽作用减弱消雷塔附近的地面场强，从而增大了保护范围。

### (3) 工作原理

1) 半导体消雷器消减向下发展雷电的原理。半导体消雷器消减向下发展雷电的原理是用尖端放电产生和雷云异号的电荷，后者可以部分中和雷云中的电荷使之不足以发生下行先导，即是以中和为基础的。为此消雷器应能在雷云下产生足够大的中和电流（即电晕电流）。消雷器产生电晕电流的动力是雷云电场  $E_0$  和塔身高度  $h$  的乘积  $E_0 h$ ，即在同样的雷云电场下，塔身愈高，电晕电流就愈大。所以为发挥中和作用，消雷塔最好有足够的高度（30~60m）。以雷云电场为 30kV/m、针高为 40m 计，产生电晕的动力将为 1200kV。此时，通过消雷器释放的只是毫安级的电晕电流。在同一动力  $E_0 h$  下，消雷器针体的形状和布置方式则是决定其中和电流的重要因素。半导体消雷器采用的塔头是少长针型的，即针数比较少（5~19 根针，共 20~76 个尖端），针体比较长（5m），因而各尖端的间距足够大，使尖端放电的作用可以得到充分发挥。

2) 半导体消雷器和限流避雷针抑制上行雷发展的原理。实测证明，只有当上行先导电流大于 100A 时，上行雷才有可能得到发展。支持上行先导电流的电动力为  $E_0$  和  $h$  的乘积。通常塔体  $h$  愈高，发生上行雷所需的地面场强  $E_0$  就愈小，其值可按表 12.2-3 估算。当塔高为 60m 时，可取  $E_0 = 25\text{kV/m}$ ，此时有  $E_0 h = U_0 = 1500\text{kV}$ 。设在非半导体消雷器（即半导体消雷器的电阻  $R=0$ ）时，上行先导的电流  $I$  为 100A，则不难求出此时制约上行先导发展的空气的等值电阻  $R_0$  为

$$R_0 = \frac{U_0}{I} = \frac{1500\text{kV}}{100\text{A}} = 15\text{k}\Omega$$

据此，可估算出上行先导经  $R=35\text{k}\Omega$  的半导体针发展时的先导电流  $I$  将被限制为

$$I = \frac{U_0}{R + R_0} = \frac{1500\text{kV}}{50\text{k}\Omega} = 30\text{A}$$

而 30A 电流在 35kΩ 电阻上的压降为 1050kV <

1500kV，所以电流流过针体时不会造成半导体针的沿面闪络。

表 12.2-3 可能发展上行先导的估计条件

地面突出物高度 $h$ (m)	50	100	200	300	500
地面附近的雷云电场 $E_0$ (kV/m)	37	22	13.5	10	7

3) 半导体消雷器限制下行雷电流的原理。起电后的雷云和大地之间相当于一个充了电的电容器，雷击大地相当于把已充好电的电容器的正负两极直接加以短接。在电容器的放电回路中串入电阻后，可以降低电容器放电电流的幅值，延长其放电时间。这就是半导体消雷器限制下行雷电流的原理。雷电实测说明，由于雷云的导电性能不像大地那样好，上行先导到达雷云时可以没有主放电过程。同理，如果下行先导击中干砂地一般也是不会出现主放电过程的。为估算出限制下行雷的雷电流所需的电阻值，可取雷击干砂地时入地的雷电流  $I=100\text{A}$ ，干砂地的土壤电阻率  $\rho=2500\Omega\cdot\text{m}$ ，土壤的击穿场强  $E=8.5\text{kV/cm}$ 。此时雷电流在地中的放电半径  $r$  可按下式求出

$$E = JP = \frac{I}{2\pi r^2} \rho \quad (12.2-30)$$

由此得 
$$r = \sqrt{\frac{I\rho}{2\pi E}} \quad (12.2-31)$$

即有 
$$r = \sqrt{\frac{100\text{A} \times 2500\Omega \cdot \text{m}}{2\pi \times 8.5\text{kV/cm} \times 10^5}} = 0.216\text{m}$$

与之相对应的接地电阻  $R$  可按下式估算，即

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} = \frac{2500\Omega \cdot \text{m}}{2\pi \times 0.216\text{m}} = 1.84\text{k}\Omega$$

也就是说，要避免主放电的形成只需要有 1.84kΩ 的限流电阻即可。关键是能否将此电阻串入。可能会有这样的问题：当下行雷的先导逐级发展到最后一级而暂时停顿时，先导的头部会逐渐被充电而达到很高的电位  $U_0$ ，比如说会达到数万千伏。这样当它对半导体针发生“最后闪击”时，高达数万千伏的  $U_0$  会直接加到半导体针上而使之“瞬时立即”闪络。这是一种误解，下面以一个内阻抗  $Z_0$  非常大的 35kΩ 的霓虹灯变压器为例加以说明。如果将该变压器突然合闸到一个工作电压为 220V 的普通白炽灯泡上，后者是不会损坏的，甚至也不会发光，此时作用在灯泡上的电压只有几伏。因为 35kV 只是变压器的无载电动势  $V$ ，加上负载  $R$  后，其端电压  $U$  会比  $V$  下降很多，即此时作用在负载  $R$  上的仅是  $Z_0$  和  $R$  串联分压后形成的  $U$ 。同样在雷电先导对半导体针发生“最后闪击”后，加在半导体针上的电压不是  $U_0$  而是先导通道内阻  $R_0$  与半导体针电阻  $R$  串联分压后的  $U$ 。据此可写出发生“最后闪击”后加在限流电阻  $R$  上的电压  $U$  和先导头部电位  $U_0$  间的关系为

$$U = \frac{U_0}{R_0 + R} R \quad (12.2-32)$$

选择适当的阻值使加在限流电阻  $R$  上的电压  $U$  小于半导体针体的闪络电压，就可避免半导体针的“瞬间立即”闪络。这是很容易实现的，且实际上这一现象在自然界也能见到。我们知道，雷击树木常会把树木劈裂，而树木就是半导体，只有雷电流经树干本体流过（即不是沿表面放电闪络），树木才可能被劈裂，如果发生沿面闪络，只能把树皮烧焦。可见加在树木上的电压只是树木电阻和先导通道电阻的分

压,并非全部先导头部的电位。

前面已经算出,为了限制上行雷的发展,半导体的单针电阻需取  $35\text{k}\Omega$ 。因此在下行雷流过针体的电流由 0 上升到超过  $43\text{A}$  时,将发生沿针体表面的闪络。为解决这个问题,可用改变相邻两针间夹角和空气间隙距离的方法(即把相邻两针的夹角取为  $20^\circ\sim 25^\circ$ ),使相邻两针针头间空气间隙的放电电压低于针体的沿面闪络电压。这样空气间隙就会在针体发生沿面闪络前先行击穿,实现两针、三针甚至多针的自

动并联,使限流电阻随着电流的增大而降低,形成整体的非线性。

在没有形成主放电前,下行先导通道是有很电阻的,其值在  $500\Omega/\text{m}$  以上,以雷云高度为  $1000\text{m}$  计,则先导通道的电阻  $R_0$  将达  $500\text{k}\Omega$  左右。取先导头部电位为  $50\,000\text{kV}$ ,可算出限流电阻  $R$  的允许值为  $15.5\text{k}\Omega$ ,而三针自动并联后半导体消雷器的限流电阻为  $11.7\text{k}\Omega$ ,已完全可以避免针体的闪络。

# 第3章 建筑物的防雷措施

## 1 第一类防雷建筑物防直击雷措施

### 1.1 第一类防雷建筑物防直击雷的措施

1) 应装设独立避雷针或架空避雷线(网),使被保护的建筑物及风帽、放散管等突出屋面的物体均处于接闪器的保护范围内。架空避雷网的网格尺寸应不大于  $5\text{m} \times 5\text{m}$  或  $6\text{m} \times 4\text{m}$ 。

2) 排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等的管口外的以下空间应处于接闪器的保护范围内;当有管帽时应按表 12.3-1 确定;当无管帽时,应为管口上方半径  $5\text{m}$  的半球体。接闪器与雷闪的接触点应设在上述空间之外。

3) 排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等,当其排放物达不到爆炸浓度、长期点火燃烧、一般排放就点火燃烧时,及发生事故时排放物才达到爆炸浓度的通风管、安全阀,接闪器的保护范围可仅保护到管帽,无管帽时可仅保护到管口。

4) 独立避雷针的杆塔、架空避雷线的端部和架空避雷网的各支柱处应至少设一根引下线。对用金属制成或有焊接、绑扎连接钢筋网的杆塔、支柱,宜利用其作为引下线。

表 12.3-1 有管帽的管口外处于接闪器保护范围内的空间

装置内的压力与周围空气压力的压力 (kPa)	排放物的密度	管帽以上的垂直高度 (m)	距管口处的水平距离 (m)
<5	重于空气	1	2
5~25	重于空气	2.5	5
≤25	轻于空气	2.5	5
>25	重或轻于空气	5	5

5) 独立避雷针和架空避雷线(网)的支柱及其接地装置至被保护建筑物及其有联系的管道、电缆等金属物之间的距离(见图 12.3-1),应符合下列表达式的要求,但不得小于  $3\text{m}$ 。

① 地上部分,当  $h_x < 5R_i$  时有

$$S_{al} \geq 0.4(R_i + 0.1h_x) \quad (12.3-1)$$

当  $h_x \geq 5R_i$  时有

$$S_{al} \geq 0.1(R_i + h_x) \quad (12.3-2)$$

② 地下部分有

$$S_{el} \geq 0.4R_i \quad (12.3-3)$$

式中,  $S_{al}$  为空气中距离,  $\text{m}$ ;  $S_{el}$  为地中距离,  $\text{m}$ ;  $R_i$  为独立避雷针或架空避雷线(网)支柱处接地装置的冲击接地电阻,  $\Omega$ ;  $h_x$  为被保护物或计算点的高度,  $\text{m}$ 。

6) 架空避雷线至屋面和各种突出屋面的风帽、放散管等物体之间的距离(见图 12.3-1),应符合下列表达式的要求,但不应小于  $3\text{m}$ 。

① 当  $(h + \frac{l}{2}) < 5R_i$  时有

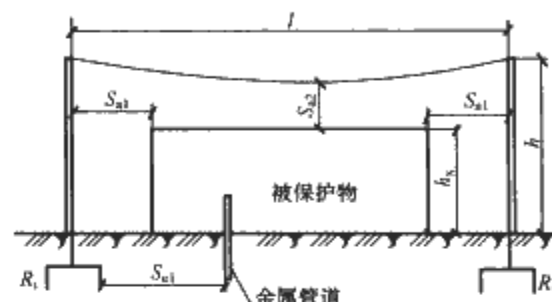


图 12.3-1 防雷装置至被保护物的距离

$$S_{a2} \geq 0.2R_i + 0.03(h + \frac{l}{2}) \quad (12.3-4)$$

② 当  $(h + \frac{l}{2}) \geq 5R_i$  时有

$$S_{a2} \geq 0.05R_i + 0.06(h + \frac{l}{2}) \quad (12.3-5)$$

式中,  $S_{a2}$  为避雷线(网)至被保护物的空气中距离,  $\text{m}$ ;  $h$  为避雷线(网)的支柱高度,  $\text{m}$ ;  $l$  为避雷线的水平长度,  $\text{m}$ 。

7) 架空避雷网至屋面和各种突出屋面的风帽、放散管等物体之间的距离,应符合下列表达的要求,但不应小于  $3\text{m}$ 。

① 当  $(h + l_1) < 5R_i$  时有

$$S_{a2} \geq \frac{1}{n} [0.4R_i + 0.06(h + l_1)] \quad (12.3-6)$$

② 当  $(h + l_1) \geq 5R_i$  时有

$$S_{a2} \geq \frac{1}{n} [0.1R_i + 0.12(h + l_1)] \quad (12.3-7)$$

式中,  $l_1$  为从避雷网中间最低点沿导体至最近支柱的距离,  $\text{m}$ ;  $h$  为从避雷网中间最低点沿导体至最近不同支柱并有同一距离  $l_1$  的个数。

8) 独立避雷针、架空避雷线或架空避雷网应有独立的接地装置,每一引下线的冲击接地电阻不宜大于  $10\Omega$ 。在土壤电阻率高的地区,可适当增大冲击接地电阻。

### 1.2 当建筑物太高或其他原因难以装设独立防直击雷装置时的措施

可将避雷针或网格不大于  $5\text{m} \times 5\text{m}$  或  $6\text{m} \times 4\text{m}$  的避雷网或由其混合组成的接闪器直接装在建筑物上,避雷网应按 12.2.1.4 节的规定沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设,并必须符合下列要求:

1) 所有避雷针应采用避雷带互相连接。

2) 引下线应不少于两根,并应沿建筑物四周均匀或对称布置,其间距应不大于  $12\text{m}$ 。

3) 排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的管道应符合本节 12.3.1 中的要求。

4) 建筑物应装设均压环,环间垂直距离应不大于  $12\text{m}$ ,所有引下线、建筑物的金属结构和金属设备均应连到环上。均压环可利用电气设备的接地干线环路。

5) 防直击雷的接地装置应围绕建筑物敷成环形接地体,每根引下线的冲击接地电阻应不大于  $10\Omega$ ,并应和电气设备接地装置及所有进入建筑物体型的金属管道相连,此接地装置可兼作防雷感应之用。

6) 防直击雷的环形接地体尚宜按以下方法敷设:

① 当土壤电阻率  $\rho \leq 500 \Omega \cdot \text{m}$  时, 对环形接地体所包围的面积等效圆半径  $\sqrt{A/\pi} \geq 5\text{m}$  的情况, 环形接地体不需补加接地体; 对等效圆半径  $\sqrt{A/\pi} < 5\text{m}$  的情况, 每一引下线处应补加水平接地体或垂直接地体。

当补加水平接地体时, 其长度应按式(12.3-8)确定

$$l_r = 5 - \sqrt{A/\pi} \quad (12.3-8)$$

式中,  $l_r$  为补加水平地体的长度, m;  $A$  为环形接地体所包围的面积,  $\text{m}^2$ 。

当补加垂直接地体时, 其长度应按式(12.3-9)确定

$$l_v = \frac{5 - \sqrt{A/\pi}}{2} \quad (12.3-9)$$

式中,  $l_v$  为补加垂直接地体的长度, m。

② 当土壤电阻率  $\rho$  为  $500 \sim 3000 \Omega \cdot \text{m}$  时, 对环形接地体所包围的面积等效圆半径  $\sqrt{A/\pi} \geq \frac{11\rho - 3600}{380}$  (m) 的情况, 环形接地体不需补加接地体; 对等效圆半径  $\sqrt{A/\pi} < \frac{11\rho - 3600}{380}$  (m) 的情况, 每一引下线处应补加水平接地体或垂直接地体。

当补加水平接地体时, 其总长度应按式(12.3-10)确定

$$l_r = \left( \frac{11\rho - 3600}{380} \right) - \sqrt{A/\pi} \quad (12.3-10)$$

当补加垂直接地体时, 其总长度应按式(12.3-11)确定

$$l_v = \frac{\left( \frac{11\rho - 3600}{380} \right) - \sqrt{A/\pi}}{2} \quad (12.3-11)$$

注: 按本款方法敷设接地体时, 可不计冲击接地电阻值。

### 1.3 当建筑物高于 30m 时, 应采取防侧击的措施

1) 从 30m 起每隔不大于 6m 沿建筑物四周设水平避雷带并与引下线相连。

2) 30m 及以上外墙上的栏杆、门窗等较大的金属物与防雷装置连接。

3) 在电源引入的总配电箱处宜装设过电压保护器。

### 1.4 树木的保护措施

当树木高于建筑物且不在接闪器保护范围之内时, 树木与建筑物之间的净距应不小于 5m。

## 2 第二类防雷建筑物防雷措施

### 2.1 第二类防雷建筑物防直击雷的措施

1) 宜采用装设在建筑物上的避雷网(带)或避雷针或由其混合组成的接闪器。避雷网(带)应按 12.2.1.4 节的规定沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设, 并应在整个屋面组成不大于  $10\text{m} \times 10\text{m}$  或  $12\text{m} \times 8\text{m}$  的网格。所有避雷针应采用避雷带相互连接。

2) 突出屋面的放散管、风管、烟囱等物体应按下列方式保护:

① 排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等管道应符合 12.3.1 节中的要求。

② 排放无爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、烟囱, 1 区、11 区和 2 区爆炸危险环境的自然通风管, 装有阻火器

的排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管, 12.3.1 节中 1.1 条 3) 款规定的管、阀及煤气放散管等, 其金属物体可不装接闪器, 但应和屋面防雷装置相连; 在屋面接闪器保护范围之外的非金属物体应装接闪器, 并和屋面防雷装置相连。

3) 引下线应不少于两根并应沿建筑物四周均匀或对称布置, 其间距应不大于 18m。当仅利用建筑物四周的钢柱或柱子钢筋作为引下线时, 可按跨度设引下线, 但引下线的平均间距应不大于 18m。

### 2.2 每根引下线的冲击接地电阻

每根引下线的冲击接地电阻应不大于  $10\Omega$ , 防直击雷接地宜和防雷感应、电气设备、信息系统等接地共用同一接地装置, 并宜与埋地金属管道相连; 当不共用、不相连时, 两者间在地中的距离应符合下列表达式的要求, 但应不小于 2m

$$S_{\geq} 0.3k_c R_i \quad (12.3-12)$$

式中,  $S_{\geq}$  为地中距离, m;  $k_c$  为分流系数, 单根引下线时其值为 1; 两根引下线及接闪器不成闭合环的多根引下线时为 0.66; 接闪器成闭合环或网状的多根引下线时为 0.44。

在共用接地装置与埋地金属管道相连的情况下, 接地装置宜围绕建筑物敷设成环形接地体。

### 2.3 利用建筑物的钢筋作为防雷装置

1) 建筑物宜利用钢筋混凝土屋面、梁、柱、基础内的钢筋作为引下线。12.2.2 节 2.2 条 2)、3)、8)、9) 款所规定的建筑物尚宜利用其作为接闪器。

2) 当基础采用硅酸盐水泥和周围土壤的含水量不低于 4% 及基础的外表面无防腐层或有沥青质的防腐层时, 宜利用基础内的钢筋作为接地装置。

3) 敷设在混凝土中作为防雷装置的钢筋或圆钢, 当仅一根时, 其直径应不小于 10mm。被利用作为防雷装置的混凝土构件内有箍长期筋连接的钢筋, 其截面积总和应不小于一根直径为 10mm 的钢筋的截面积。

4) 利用基础内钢筋作为接地体时, 在周围地面以下距地面不小于 0.5m, 每根引下线所连接的钢筋表面积总和应符合下列表达式的要求

$$S \geq 4.2k_c^2 \quad (12.3-13)$$

式中,  $S$  为钢筋表面积总和,  $\text{m}^2$ 。

5) 当在建筑物周边的无钢筋的闭合条形混凝土基础内敷设人工基础接地体时, 接地体的规格尺寸应不小于表 12.3-2 的规定。

表 12.3-2 第二类防雷建筑物环形人工基础接地体的规格尺寸

闭合条形基础的周长 (m)	扁钢 (mm)	圆钢, 根数 $\times$ 直径 (mm)
$\geq 60$	$4 \times 25$	$2 \times \phi 10$
$40 \sim 60$	$4 \times 50$	$4 \times \phi 10$ 或 $3 \times \phi 12$
$< 40$	钢材表面积总和和不少于 $4.24\text{m}^2$	

注 1. 当长度相同、截面相同时, 宜优先选用扁钢。

2. 采用多根圆钢时, 其敷设净距不小于直径的 2 倍。

3. 利用闭合条形基础内的钢筋作接地体时可按本表校验。除主筋外, 可计入箍筋的表面积。

6) 构件内有箍筋连接的钢筋或成网状的钢筋, 其箍筋与钢筋的连接, 钢筋与钢筋的连接应采用土建施工的绑扎法



连接或焊接。单根钢筋或圆钢或外引预埋连接板、线与上述钢筋的连接应焊接或采用螺栓紧固的卡夹器连接。构件之间必须连接成电气通路。

#### 2.4 当土壤电阻率 $\rho \leq 3000 \Omega \cdot m$ 时关于接地体的规定

在防雷的接地装置同其他接地装置和进出建筑物的管道相连的情况下,防雷的接地装置可不计及接地电阻值,但其接地体应符合下列规定之一:

1) 防直击雷的环形接地体的敷设应符合 12.3.1.2 条 6) 款①项的要求,但土壤电阻率  $\rho$  的适用范围应放大到小于或等于  $3000 \Omega \cdot m$ 。

2) 在符合 12.3.2.3 条规定的条件下利用槽形、板形或条形基础的钢筋作为接地体,当槽形、板形基础钢筋网在水平面的投影面积或成环的条形基础钢筋所包围的面积  $A \geq 80m^2$  时,可不另加接地体。

3) 在符合 12.3.2.3 条规定的条件下,对 6m 柱距或大多数柱距为 6m 的单层工业建筑物,当利用柱子基础的钢筋作为防雷的接地体并同时符合下列条件时,可不另加接地体:

① 利用全部或绝大多数柱子基础的钢筋作为接地体。

② 柱子基础的钢筋网通过钢柱、钢屋架、钢筋混凝土柱子、屋架、屋面板、吊车梁等构件的钢筋或防雷装置互相连成整体。

③ 在周围地面以下距地面不小于 0.5m,每一柱子基础内所连接的钢筋表面积总和大于或等于  $0.82m^2$ 。

#### 2.5 防止雷电流引起的高电位反击

防止雷电流流经引下线和接地装置时产生的高电位对附近金属物或电气线路的反击应符合下列要求:

1) 当金属物或电气线路与防雷的接地装置之间不相连时,其与引下线之间的距离应按下列表示式确定

$$\text{当 } l_x < 5R_1 \text{ 时 } S_{a3} \geq 0.3k_c(R_1 + 0.1l_x) \quad (12.3-14)$$

$$\text{当 } l_x \geq 5R_1 \text{ 时 } S_{a3} \geq 0.075k_c(R_1 + l_x) \quad (12.3-15)$$

式中,  $S_{a3}$  为空气中距离, m;  $R_1$  为引下线的冲击接地电阻,  $\Omega$ ;  $l_x$  为引下线计算点到地面的长度, m。

2) 当金属物或电气线路与防雷的接地装置之间相连或通过过电压保护器相连时,其与引下线之间的距离应按下列表达式确定

$$S_{a4} \geq 0.075k_c l_x \quad (12.3-16)$$

式中,  $S_{a4}$  为空气中距离, m;  $l_x$  为引下线计算点到连接点的长度, m。

当利用建筑物的钢筋结构作为引下线,同时建筑物的大部分钢筋、钢结构等金属物与被利用的部分连成整体时,金属物或线路与引下线之间的距离可不受限制。

3) 当金属物或线路与引下线之间有自然接地或人工接地的钢筋混凝土构件、金属板、金属网等静电屏蔽物隔开时,金属物或线路与引下线之间的距离可不受限制。

4) 当金属物或线路与引下线之间有混凝土墙、砖墙隔开时,混凝土墙的击穿强度应与空气击穿强度相同;砖墙的击穿强度应为空气击穿强度的 1/2。当距离不能满足本条第 1)、2) 款的要求时,金属物或线路应与引下线直接相连或通过过电压保护器相连。

5) 在电气接地装置与防雷的接地装置共用或相连的情况下:当低压电源线路用全长电缆或架空线换电缆引入时,

宜在电源线路引入的总配电箱处装设过电压保护器;当 Y, yn0 或 D, yn11 接线的配电变压器设在本建筑物内或附设于外墙处时,在高压侧采用电缆进线的情况下,宜在变压器高、低压侧各相上装设避雷器;在高压侧采用架空进线的情况下,除按国家现行有关规范的规定在高压侧装设避雷器外,尚宜在低压侧各相上装设避雷器。

#### 2.6 有爆炸危险的露天钢质封闭气罐的防护措施

当其壁厚不小于 4mm 时,可不装设接闪器,但应接地,且接地点应不少于两处;两接地点间距离不宜大于 30m,冲击接地电阻应不大于  $30\Omega$ 。当防雷的接地装置符合 12.3.2.4 条的规定时,可不计及其接地电阻值。放散管和呼吸阀的保护应符合 12.3.2.7 节 2 条的要求。

#### 2.7 当建筑物高于 45m 时,应采取的防侧击雷措施

1) 钢构架和混凝土的钢筋应相互连接,钢筋的连接应符合 12.3.2 节 2.3 条的要求。

2) 利用钢柱或柱子钢筋作为防雷引下线。

3) 应将 45m 及以上外墙上的栏杆、门窗等较大的金属物与防雷装置连接。

4) 竖直敷设的金属管道或金属物的顶端和底端与防雷装置连接。

### 3 第三类防雷建筑物的防雷措施

#### 3.1 第三类防雷建筑物防直击雷的措施

宜采用装设在建筑物上的避雷网(带)或避雷针或由这两种混合组成的接闪器。避雷网(带)应按 12.2.1.4 节的规定沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设。并应在整个屋面组成不大于  $20m \times 20m$  或  $24m \times 16m$  的网格。

平面屋顶的建筑物,当其宽度不大于 20m 时,可仅沿周边敷设一圈避雷带。

#### 3.2 每根引下线的冲击接地电阻

每根引下线的冲击接地电阻不宜大于  $30\Omega$ ,但对 12.3.2 节 2.1 条②款所规定的建筑物则不宜大于  $10\Omega$ 。其接地装置宜与电气设备等接地装置共用。防雷的接地装置宜与埋地金属管道相连。当不共用、不相连时,两者间在地中的距离不应小于 2m。

在共用接地装置与埋地金属管道相连的情况下,接地装置宜围绕建筑物敷设成环形接地体。

#### 3.3 用建筑物的钢筋作为防雷装置

作为接闪器、引下线和接地装置,并应符合 12.3.2 节 2.3 条 2)、3)、6) 款和下列的规定:

1) 利用基础内钢筋网作为接地体时,在周围地面以下距地面不小于 0.5m,每根引下线所连接的钢筋表面积总和应符合下列表达式的要求

$$S \geq 1.89k_c^2 \quad (12.3-17)$$

式中,  $S$  为钢筋表面积总和,  $m^2$ 。

2) 当在建筑物周边的无钢筋的闭合条形混凝土基础内敷设人工基础接地体时,接地体的规格尺寸应不小于表 12.3-3 的规定。

表 12.3-3 第三类防雷建筑物环形人工基础  
接地体的规格尺寸

闭合条形基础的周长 (m)	扁钢 (mm)	圆钢, 根数×直径 (mm)
≥60		1×φ10
40~60	4×20	2×φ8
<40	钢材表面积总和不小于 1.89m <sup>2</sup>	

注 1. 当长度相同, 截面相同时, 宜优先选用扁钢。  
2. 采用多根圆钢时, 其敷设净距不小于直径的 2 倍。  
3. 利用闭合条形基础内的钢筋作接地体时可按本表校验。除主筋外, 可计入箍筋的表面积。

### 3.4 当土壤电阻率 $\rho \leq 3000\Omega \cdot m$ 时关于接地体的规定

在防雷的接地装置同其他接地装置和进出建筑物的管道相连的情况下, 防雷的接地装置可不计及接地电阻值, 其接地体应符合 12.3.2 节 2.4 条的规定, 但其 2)、3) 款应改为在符合 12.3.3 节 3.3 条规定的条件下以及 3) 款③项所规定的钢筋表面积总和改为大于或等于 0.37m<sup>2</sup>。

### 3.5 突出屋面的物体的保护方式

应符合 12.3.2 节 2.1 条的规定。

### 3.6 砖烟囱、钢筋混凝土烟囱的保护

宜在烟囱上装设避雷针或避雷环保护。多支避雷针应连接在闭合环上。当非金属烟囱无法采用单支或双支避雷针保护时, 应在烟囱口装设环形避雷带, 并应对称布置三支高出烟囱口不低于 0.5m 的避雷针。

钢筋混凝土烟囱的钢筋应在其顶部和底部与引下线和贯通连接的金属爬梯相连。当符合 12.3.3 节 3.3 条的要求时, 宜利用钢筋作为引下线和接地装置, 可不另设专用引下线。

高度不超过 40m 的烟囱, 可只设一根引下线, 超过 40m 时应设两根引下线。可利用螺栓连接或焊接的一座金属爬梯作为两根引下线用。

金属烟囱应作为接闪器和引下线。

### 3.7 引下线

引下线应不少于两根, 但周长不超过 25m 且高度不超过 40m 的建筑物可只设一根引下线。引下线应沿建筑物四

周均匀或对称布置, 其间距应不大于 25m。当仅利用建筑物四周的钢柱或柱子钢筋作为引下线时, 可按跨度设引下线, 但引下线的平均间距应不大于 25m。

### 3.8 防止雷电流引起的高电位反击

防止产生的高电位对附近金属物或线路的反击, 应符合 12.3.2 节 2.5 条的要求, 但其与引下线之间的距离应按下列表示式确定

当  $l_x < 5R_i$  时, 有

$$S_{a3} \geq 0.2k_c(R_i + 0.1l_x) \quad (12.3-18)$$

当  $l_x \geq 5R_i$  时, 有

$$S_{a3} \geq 0.05k_c(R_i + l_x) \quad (12.3-19)$$

$$S_{a4} \geq 0.05k_c l_x \quad (12.3-20)$$

### 3.9 当建筑物高于 60m 时, 应采取的防侧击雷措施

其防侧击和等电位的保护措施应符合 12.3.2 节 2.7 条 1)、2)、4) 款的规定, 并应将 60m 及以上外墙上的栏杆、门窗等较大的金属物与防雷装置连接。

## 4 其他防雷措施

1) 严禁将架空照明线、电话线、广播线及天线等装在避雷针上或其构架上。

2) 屋顶景观照明装置应设置防雷保护, 景观照明灯的电源线必须穿金属管保护, 其配电金属管应与防雷装置就近作多点焊接。其电源线路应在靠近屋顶的部位加装浪涌保护器, 浪涌保护器下端就近与防雷装置相连并作可靠接地。景观照明电源线路不应与楼内的配电线路混接, 其电源应从变配电室单独供电。

3) 防直击雷的人工接地体距建筑物出入口或人行道应不小于 3m。由于条件限制, 其间距离小于 3m 时, 为保证人身不受跨步电压的危害, 应采用下列措施之一:

① 将水平接地体局部深埋应不小于 1m。

② 水平接地体局部应包绝缘物, 可采用 50~80mm 厚的沥青层。

③ 采用沥青碎石地面或在接地体上面敷设沥青碎石, 其宽度应超过接地体 2m。

④ 埋在土壤中的接地体, 应采用焊接, 并在焊接处作防腐处理。

## 第4章 建筑物的雷电侵入波防护

### 1 建筑物雷电侵入途径

沿屋外遭受雷击的配电线路或架空信号线路以电磁波的形式传入建筑物内的雷电波,虽然不是直接击于建筑物,但经验证明这种电磁波可以使室内空气间隙放电,对人体、牲畜或易燃品和电子仪器设备都是危险的。

当雷击于建筑物避雷针时,虽然大部分的能量由接地装置入地,但也有一小部分沿着与避雷针或接地线相连的水管、气管或电缆外皮等以电磁波的形式传入屋内,而引起空气间隙放电。

雷击建筑物避雷针时,雷电流在引下线阻抗和接地体上的压降会造成沿建筑物高度各点的电位升高,向处于低电位的设施反击。

#### 1.1 沿架空线路的侵入波

1) 为防止雷击低压线时在建筑物内发生由低压线向人身放电,一般应将进户线的绝缘子铁脚接地,其冲击接地电阻一般应不大于  $10\Omega$ 。对于人员密集的公共场所,如剧院和学校教室等的进户线,以及对于由木杆或木横担引下的进户线,更必须将其绝缘子铁脚可靠接地。

2) 为保护建筑物内的低压电器设备,低压架空电源线在进入建筑物前应穿入金属管并埋入地中,直接埋入地中的金属管长度应在  $15\text{m}$  以上,并在其两端设置低压避雷器,如图 12.4-1 所示。利用土壤的散流作用,使沿架空线来的高电压经大地逐渐衰减。

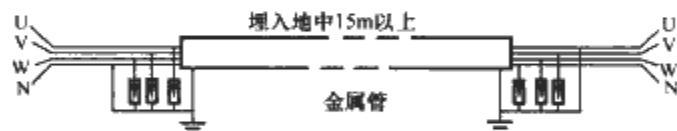


图 12.4-1 电源线穿金属管埋地

3) 在电源引入的总配电箱处宜装设过电压保护器。

4) 注意在土壤电阻率极高(例如处于土壤电阻率达  $1000\Omega \cdot \text{m}$  的高山上的微波站)时,埋地金属管将不能起到有效的散流作用,在防雷设计中仍应按架空线来考虑。

5) 当建筑物比较重要或建筑物内有绝缘水平很低的微电子设备时,由配电变压器进入建筑物内部的低压线应全线采用金属外皮的电缆或全部穿金属管埋地,不允许有架空部分。

#### 1.2 雷电电磁脉冲波

1) 雷电放电通道周围会形成很强的电场和磁场。一般电场的穿透力很小,对有一定屏蔽能力的物体内部的电气设备的工作影响不大。但变化的磁场所具有的穿透能力很强,可以穿过常规金属屏蔽层到达设备内部,而影响电子设备的工作。此外由于电流变化率可以高达  $100\text{kA}/\mu\text{s}$  以上,因而由交变磁场产生的感应电压可以高达数千伏。而普通电子设备的工作电压一般只有几伏或数十伏,故对建筑物内部电子设备的屏蔽、接地、电位均衡连接和布线必须慎重考虑。值得指出的是,交变磁场对引入的电缆产生的感应电压也同样

会进入设备内部。因此对电缆的敷设、布线及屏蔽、接地问题也应重视。

2) 实际经验表明,虽然建筑物所有金属物体都可靠接地了,但是当打雷时在金属物体之间仍然会有火花出现。例如未闭合的铁环,尽管环中一点已可靠接地,但在建筑物附近发生雷击时,由于雷电流甚为强大并且变化又极为迅速,所以在空中产生了变化极快的磁力线,而这些磁力线与铁环交连的结果就会在铁环中产生强大的电动势,在开口两端间呈现很高的电位差导致放电。

3) 屋顶用铁皮做成时,只能使电磁感应作用减小,而不能使它消灭。即使建筑物全部用铁丝网包围起来也不能消灭它,因为变化极快的磁力线是可以穿过这层屏蔽的。

4) 如果铁环没有开口而是成回路的,则附近打雷时,与铁环相连的变化极快的磁力线将在铁环中感应出电流来,这一环流电流将要使某些接触不良的地方发热,从而可能引起易燃品或易爆品燃烧。因此也是危险的。

5) 为了防止因电磁感应引起的不良后果,应当将建筑物中所有互相靠近的金属体在电气上良好地连接起来,对弱电设备要加强屏蔽。

6) 电子元件对雷电电磁干扰十分敏感。为实现对雷电电磁干扰的屏蔽,通信机房及调度通信综合楼的建筑钢筋、金属地板、构架等均应相互焊接,形成等电位法拉第笼。

7) 对塔楼分离的微波站来说,由于建筑物构架对外部电磁场的屏蔽效能比较低(一般小于  $5\text{dB}$ ),微波塔和通信机房的距离又比较近(一般在  $10\text{m}$  左右),因此对磁场敏感度高的电子设备,自身还应有屏蔽。另外敷设在机房内的各种电缆也宜采用屏蔽电缆或敷设在金属管内,并将屏蔽层或金属管两端就近接地。

8) 在微波塔或塔楼顶部装设具有限流作用的半导体避雷器或限流避雷针,可以大幅度降低雷击微波塔时流经铁塔或建筑物钢筋以及引下线的雷电流,有效地降低空间电磁场的值,从而大大减轻对空间电磁场防护的压力。

#### 1.3 地电位升高对电源的反击

雷电流流经引下线和接地装置时产生的高电位会对附近金属物或线路造成反击。为防止这种反击,根据规程规定,接地装置应符合下列要求:

1) 当金属物或电气线路与防雷的接地装置之间不相连时,其与引下线之间的距离应满足下式

当  $l_x < 5R_i$  时,有

$$S_{a3} \geq 0.3k_c(R_i + 0.1l_x) \quad (12.4-1)$$

当  $l_x \geq 5R_i$  时,有

$$S_{a3} \geq 0.075k_c(R_i + l_x) \quad (12.4-2)$$

式中,  $S_{a3}$  为空气中距离,  $\text{m}$ ;  $R_i$  为引下线的冲击接地电阻,  $\Omega$ ;  $l_x$  为引下线计算点到地面的长度,  $\text{m}$ 。

2) 当金属物或电气线路与防雷的接地装置之间相连或通过过电压保护器相连时,其与引下线之间的距离应满足下式

$$S_{a4} \geq 0.075k_c l_x \quad (12.4-3)$$

式中,  $S_{ad}$  为空气中距离, m;  $l_x$  为引下线计算点到连接点的长度, m。

3) 当金属物或线路与引下线之间有自然接地或人工接地的钢筋混凝土构件、金属板、金属网等静电屏蔽物隔开时, 金属物或线路与引下线之间的距离可不受限制。

4) 当金属物或线路与引下线之间有混凝土墙、砖墙隔开时, 混凝土墙的击穿强度应与空气击穿强度相同; 砖墙的击穿强度应为空气击穿强度的  $1/2$ 。当距离不能满足 1、2 条时, 金属物或线路应与引下线直接相连或通过过电压保护器相连。

5) 在电气接地装置与防雷接地装置共用或相连的情况下, 当低压电源线路用全电缆或架空线经电缆引入时, 宜在电源线路引入的总配电箱处装设过电压保护器; 当 Y, yn0 型或 D, yn11 型接线的配电变压器设在本建筑物内或附设于外墙处时, 在高压侧采用电缆进线的情况下, 宜在变压器高、低压侧各相上装设避雷器; 在高压侧采用架空进线的情况下, 除按国家现行有关规范的规定除在高压侧装设避雷器外, 尚宜在低压侧各相上装设避雷器。

## 2 雷电电磁脉冲防护分区

根据各部分空间不同的雷电电磁脉冲的严重程度和各程度不同交界处的等电位连接点的位置, 将需保护的空间划分为的 0A、0B、1、2 等四个防雷区, 如图 12.4-2 所示。

### (1) LPZ0A 区

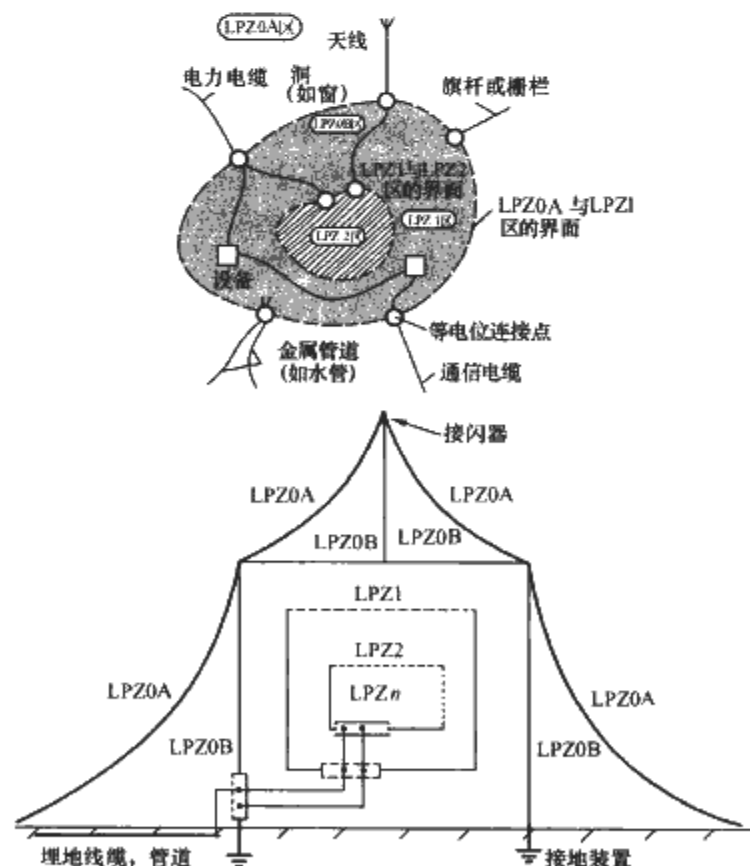
本区内的各物体都可能遭到直接雷击, 因此各物体都可能导走全部雷电流。本区内的电磁场没有衰减。

### (2) LPZ0B 区

本区内的各物体不可能遭到直接雷击, 但本区内电磁场没有衰减。

### (3) LPZ1 区

本区内的各物体不可能遭到直接雷击, 流经各导体的电流, 比 LPZ0B 区进一步减小, 本区内的电磁场也可能衰减。



注:  $\bullet$  表示在不同雷电防护区界面上的等电位接地端子板  
 $\square$  表示起屏蔽作用的建筑物外墙、房间或其他屏蔽体  
 虚线: 表示按滚球法计算 LPS 的保护范围

图 12.4-2 建筑物雷电防护区

这取决于屏蔽措施。

### (4) LPZ2 区 (后续防雷区)

在电缆从一个防雷区通到另一个防雷区处, 必须在每一交界处进行等电位联结。LPZ2 是在这种方式下构成的, 使雷电流不能导入此空间, 也不能从此空间穿过。图 12.4-2 为将一个需要保护的空间划分为不同防雷区的一般原则。

## 3 过电压保护器件

过电压保护器件用于限制作用到被保护设备上的雷电过电压幅值。

过电压保护器件作外部保护时的作用是将绝大部分雷电流直接引入地下泄散; 作内部保护时用于限制沿电源线或数据线、信号线引入的侵入波, 防止雷电波损坏设备。

目前用于低电压系统的过电压保护器件主要有气体放电管、氧化锌压敏电阻和齐纳 TVS (Transient Voltage Suppressor) 二极管等。

### 3.1 气体放电管

气体放电管是一种用陶瓷或玻璃封装、内充低压惰性气体 (如氩气、氖气) 的放电间隙。当加在间隙上的电压超过其放电电压时, 间隙击穿, 从而起到限制过电压的作用。气体放电管有二电极和三电极两种结构。图 12.4-3 为其保护接线示意图。三电极放电管的优点是会产生竞争放电, 即当一线的电极对地极放电时所产生的电弧照射另一线未放电的间隙, 促使未放电的间隙提前产生点火电子, 令其在极短时间内对地放电。根据试验, 利用这一原理使两电极放电的时间差可减少为  $0.15 \sim 0.2 \mu s$ 。

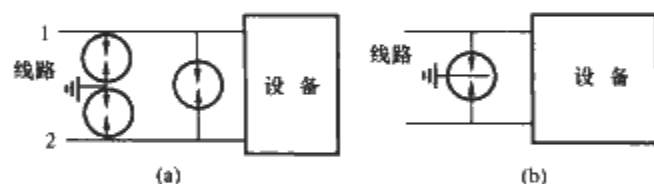


图 12.4-3 气体放电管的保护接线  
 (a) 二极放电管; (b) 三极放电管

气体放电管的特点是通流容量大 (一般为  $10^3 \sim 10^5 A$ ), 极间电容小 (不大于  $10 pF$ ), 但其动作电压较高 (冲击击穿电压不能低于  $250 V$ ), 响应时间慢 ( $10^{-6} s$ ), 而且动作后会出现续流, 不易关断, 所以通常用于电话线及高至  $50 MHz$  信号的初级保护。

### 3.2 氧化锌压敏电阻

氧化锌压敏电阻是以氧化锌 ( $ZnO$ ) 为主要材料, 以少量的氧化铋 ( $Bi_2O_3$ )、氧化钴 ( $Co_2O_3$ )、氧化锰 ( $MnO_2$ )、氧化锑 ( $Sb_2O_3$ ) 等金属氧化物作添加剂, 在  $1000^\circ C$  以上的高温中烧结而成的非线性电阻片。理想的非线性电阻应在大电流时呈现为小的电阻以保证在雷电流通过时, 其上的压降 (残压或箝位电压) 足够低, 起到限压的作用。在雷电流过去以后, 当加在电阻片上的电压是其正常工作电压时, 电阻片应呈现足够大的电阻以保证系统能恢复正常工作。其非线性程度可用下式表示

$$U = CI^\alpha \quad (12.4-4)$$

式中,  $C$  为电阻片流过  $1 A$  电流时的压降, 它和电阻片的材料及尺寸有关;  $\alpha$  为非线性系数, 其值小于 1。

$\alpha$  越小则非线性越好, 当  $\alpha = 0$  时, 将出现电阻片电压不随电流而变的理想状态。

图 12.4-4 为氧化锌压敏电阻的伏安特性,可划分为小电流区、非线性区和饱和区三个区域。

1) 小电流区(通过氧化锌阀片的电流在 1mA 以内)非线性系数较大,约为 0.1~0.2。

2) 非线性区  $\alpha$  大大下降,可低至 0.015~0.05,已非常接近  $\alpha=0$  的理想值,即使在 10kA 雷电流下,  $\alpha$  也仅为 0.1 左右。

3) 饱和区中电阻片的伏安特性明显上翘。

在正常工作时通过电阻片的电流小于  $10^{-5}$  A,可以近似认为 0。

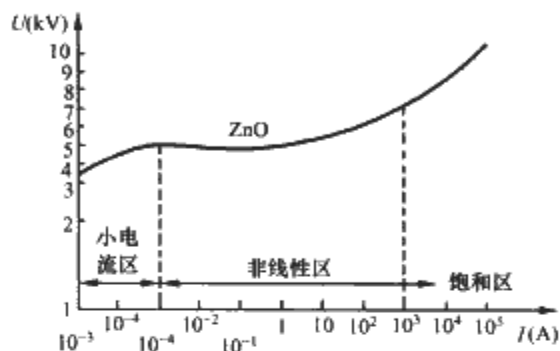


图 12.4-4 氧化锌电阻的伏安特性

氧化锌压敏电阻片的主要工作参数有以下几个方面：

1) 参考电流。通常把氧化锌压敏电阻片伏安特性上拐点（即小电流区和非线性区的交界处）附近的某一电流值称为电阻片的参考电流（一般为 1mA）。

2) 直流参考电压。在参考电流下测得的电阻片上的电压称为电阻片的直流参考电压  $U_{1mA}$ 。当作用在电阻片上的电压超过其参考电压时，流过电阻片的电流迅速增大。

3) 荷电率。电阻片的持续运行电压的峰值与直流参考电压（即额定电压峰值）的比值称为电阻片的荷电率。荷电率的高低将直接影响到电阻片的老化过程。荷电率高时，电阻片的老化将加速，降低荷电率可以减缓电阻片的老化过程，增大其使用年限。但还应注意荷电率的降低会使电阻片的保护性能变坏。常用的荷电率在 45%~75% 内。

氧化锌压敏电阻的通流能力大（一般为  $10^2 \sim 10^5$  A），动作响应时间快（ $10^{-9}$  s），且动作后无续流出现，常用于各级电源的初级和次级保护。但由于氧化锌压敏电阻的直流 1mA 电压的降低受到电阻片厚度的限制，一般不能低于 15V，所以残压的降低受到了限制，且其极间电容太大（可达数千 pF），不能用在高频、超高频和甚高频的电路中，也不能用在箝位电压要求低的场合。目前氧化锌压敏电阻广泛应用于电源系统的初级、次级保护，也可用于频率不高的信号保护中。

### 3.3 齐纳 TVS 二极管

齐纳 TVS 二极管是一种专门用来抑制过电压的二极管。它是在普通稳压二极管的基础上发展起来的。和普通稳压二极管相比，齐纳 TVS 二极管具有较大截面积的硅 PN 结，该 PN 结工作在雪崩状态时，脉冲吸收能力较普通稳压二极管强。

齐纳 TVS 二极管有单极性和双极性两种。

1) 单极性 TVS 管只对一个方向的冲击电压起保护作用，相当于一个稳压二极管，靠它的伏安特性起箝位作用，如图 12.4-5 所示。二极管在反偏电压下工作，当电压位于  $0 \sim U_z$  之间时，管子呈高电阻，流经管子的只有微安级的电流。当反偏电压达到  $U_z$  时，流经管子的电流迅速增加，管子进入低电阻导通状态。管子一旦导通后，只要流过管子的

电流不大于其允许的最大电流，管子两端的电压就大体上保持在  $U_z$  附近。当雷电脉冲通过后，二极管又可恢复到高阻状态。

2) 双极性 TVS 二极管相当于两只稳压二极管反向串联，对正、负极性的冲击电压均能起到保护作用。图 12.4-6 为其伏安特性。

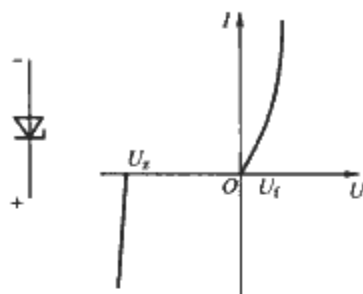


图 12.4-5 单极性 TVS 二极管

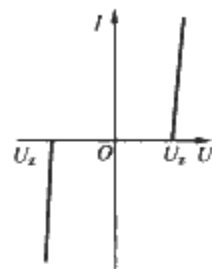


图 12.4-6 双极性 TVS 二极管

齐纳 TVS 二极管的箝位电压低（可低至 12V），响应时间快（可达  $10^{-12}$  s），极间电容小，可用于信号和数据线的保护。但由于其通流能力较小（为  $10^1 \sim 10^2$  A），一般不宜用于电源等的初级和次级保护。

## 4 避雷器

避雷器按使用场合的不同可分为以下三大类型：

1) 电源型避雷器（安装时主要是并联方式，也可采用串联方式），按电压的不同，分 220V 的单相电源避雷器和 380V 的三相电源避雷器。

2) 信号型避雷器，多数用于计算机网络、通信系统上，采用串联方式连接安装。

3) 天馈线型避雷器，它适用于有发射机天线系统和接收无线电信号设备系统，采用串联方式连接安装。

## 5 浪涌保护器 (SPD)

### 5.1 浪涌保护分级

多级分级（类）保护原则，即根据电气、微电子设备的不同功能及不同受保护程序和所属保护层确定防护要点作分类保护；根据雷电和操作瞬间过电压危害的可能通道，从电源线到数据通信线路都应做多级层保护。

(1) 外部无源保护

在 0 级保护区即外部作无源保护，主要有避雷针（网、线、带）和接地装置（接地线、地极）。建筑物的所有外露金属构件（管道），都应和防雷网（带、线）良好连接。

(2) 内部防护

电源部分防护：雷电侵害主要是通过线路侵入。高压输电线路有专用高压避雷装置，电力传输线把对地的过电压限制到小于 6000V（IEC 62.41），而线对线则无法控制。所以对 380V 低压线路应进行过电压保护。

1) 一级保护。如图 12.4-14 作配电变压器的防雷保护。

2) 二级保护。在楼宇总配电盘至楼层配电箱间电缆内芯线两端对地加装避雷器的保护。

3) 三级保护。在所有重要的、精密的设备以及 UPS 的前端对地加装避雷器的保护。

分流（限幅）技术中采用的保护器的品质、性能的好坏是直接关系网络防护的关键，必须选择合格优良的避雷器。表 12.4-1 所示为不同防雷区使用的防雷保护装置的参数。



表 12.4-1 不同防雷区使用的防雷保护装置的参数

雷电保护分级	LPZ0 区与 LPZ1 区交界处		LPZ1 与 LPZ2、LPZ2 与 LPZ3 区交界处			直流电源标称放电电流 (kA)
	第一级标称放电电流		第二级标称放电电流	第三级标称放电电流	第四级标称放电电流	
	10/350 $\mu$ s	8/20 $\mu$ s	8/20 $\mu$ s	8/20 $\mu$ s	8/20 $\mu$ s	
A 级	$\geq 20$	$\geq 80$	$\geq 40$	$\geq 20$	$\geq 10$	$\geq 10$
B 级	$\geq 15$	$\geq 60$	$\geq 40$	$\geq 20$		直流配电系统中根据线路长度和工作电压选用标称放电电流不小于 10kA 适配的 SPD
C 级	$\geq 12.5$	$\geq 50$	$\geq 20$			
D 级	$\geq 12.5$	$\geq 50$	$\geq 10$			

5.2 电源浪涌保护器选择原则

不同供电接地系统电源浪涌保护器选择主要考虑的问题是浪涌保护器的保护模式和最大持续电压  $U_c$  的选择。

根据国家标准相关规定, 220/380V 三相系统中的浪涌保护器其最大持续运行电压  $U_c$  应符合下列规定:

(1) TT 系统

采用 4P+0 保护模式时,  $U_c \geq 1.55U_0$  ( $U_0$  为相电压); 采用 3P+1 保护模式时,  $U_c \geq 1.15U_0$  ( $U_0$  为相电压)。

(2) TN 系统

采用 3P+0 保护模式,  $U_c \geq 1.15U_0$  ( $U_0$  为相电压)。

(3) IT 系统

采用 3P+0 保护模式时,  $U_c \geq 1.15U$  ( $U$  为线间电压), 即  $U_c \geq 1.99U_0$ 。

为了达到满意的防护效果, 同时使 SPD 的运行更可靠, 在三相供电电源系统宜推荐优先采用 3P+1 保护模式; 在单相供电电源系统, 宜推荐优先采用 2P+1 保护模式。

5.3 浪涌保护器的选型

1) 当电源采用 TN 系统时, 从建筑物内总配电盘 (箱) 开始引出的配电线路和分支线路必须采用 TN-S 系统。

2) 电涌保护器必须能承受预期通过它们的雷电流, 并应符合以下两个附加要求: 通过浪涌时的最大残压能满足要求; 有能力熄灭在雷电流通过后产生的工频续流。

3) 在建筑物进线处和其他防雷区界面处的最大浪涌电压, 即浪涌保护器的最大残压加上其两端引线的感应电压应与所属系统的基本绝缘水平和设备允许的最大浪涌电压相一致。为使最大浪涌电压足够低, 其两端的引线应做到最短。

4) 在不同界面上的各浪涌保护器, 还应与其相应的电压承受能力相一致。

当无法获得设备的耐冲击电压时, 220/380V 三相配电系统的设备可按表 12.4-2 选用。

表 12.4-2 220/380V 三相系统各种设备耐冲击过电压额定值

设备位置	电源处的设备	配电线路和最后分支线路的设备	用电设备	特殊需要保护的的设备
耐冲击过电压类别	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类
耐冲击电压额定值 (kV)	6	4	2.5	1.5

注 Ⅰ类: 需要将瞬态过电压限制到特定水平的设备。  
Ⅱ类: 如家用电器、手提工具和类似负荷。  
Ⅲ类: 如配电盘, 断路器, 包括电缆、母线、分线盒、开关、插座的布线系统, 以及应用于工业的设备和永久接至固定装置的固定安装的电动机等一些其他设备。  
Ⅳ类: 如电气计量仪表、一次线过流保护设备、波纹控制设备。

5) 选择 220/380V 三相系统中的浪涌保护器时, 其最大持续运行电压  $U_c$  应符合下列规定。

①按图 12.4-7 接线的 TT 系统中,  $U_c \geq 1.55U_0$ 。

②按图 12.4-8 和图 12.3-10 接线的 TT 和 TN 系统中,  $U_c \geq 1.15U_0$ 。

③按图 12.4-13 接线的 IT 系统中,  $U_c \geq 1.15U_0$ 。

其中:  $U_0$  是低压系统相线对中性线的标称电压, 在 220/380V 三相系统中,  $U_0 = 220V$ ;  $U$  为线间电压。

6) 各系统中浪涌保护器选型实例如下:

① TT 系统的选型。

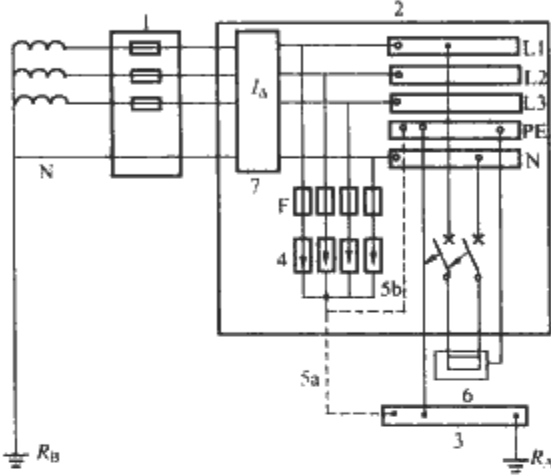


图 12.4-7 TT 系统中浪涌保护器安装在剩余电流保护器的负荷侧

1—装置的电源; 2—配电盘; 3—总接地端或总接地连接带; 4—电涌保护器 (SPD); 5—电涌保护器的接地连接, 5a 或 5b; 6—需要保护的负载; 7—剩余电流保护器, 应考虑通雷电流的能力; F—保护电涌保护器推荐的熔丝、断路器或剩余电流保护器;  $R_A$ —本装置的接地电阻;  $R_B$ —供电系统的接地电阻

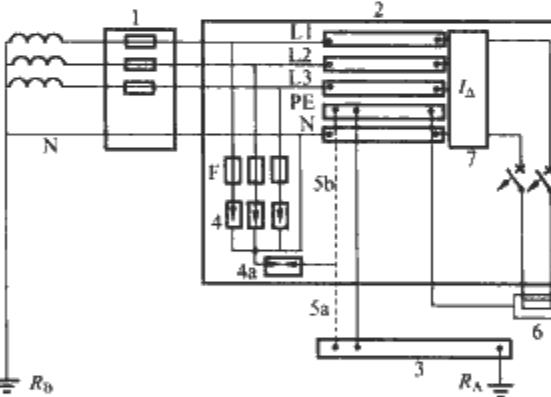


图 12.4-8 TT 系统中浪涌保护器安装在剩余电流保护器的电源侧

1—装置的电源; 2—配电盘; 3—总接地端或总接地连接带; 4—电涌保护器 (SPD); 4a—电涌保护器或放电间隙; 5—电涌保护器的接地连接, 5a 或 5b; 6—需要保护的负载; 7—剩余电流保护器, 可位于母线的上方或下方; F—保护电涌保护器推荐的熔丝、断路器或剩余电流保护器;  $R_A$ —本装置的接地电阻;  $R_B$ —供电系统的接地电阻

注: 当电源变压器高压侧碰外壳短路产生的过电压加于 4a 设备时不应动作。在高压系统采用低电阻接地和供电变压器外壳、低压系统中性点合用同一接地装置以及切断短路的时间小于或等于 5s 时, 该过电压可按 1200V 考虑。

在 TT 系统中因为 N 线 (中线) 只在变压器的中性点接地, 它与设备的保护接地是严格分开的, 因此在选用浪涌保护器时需要在相线与 N 线, N 线与地线之间进行保护。对于三相电源系统优先选择 3+1 保护模式的 SPD, 当采用



4+0 保护模式的 SPD 时, 应满足  $U_c \geq 1.55U_0$  的要求; 对于单相电源系统应优先选择 2+1 保护模式的 SPD。

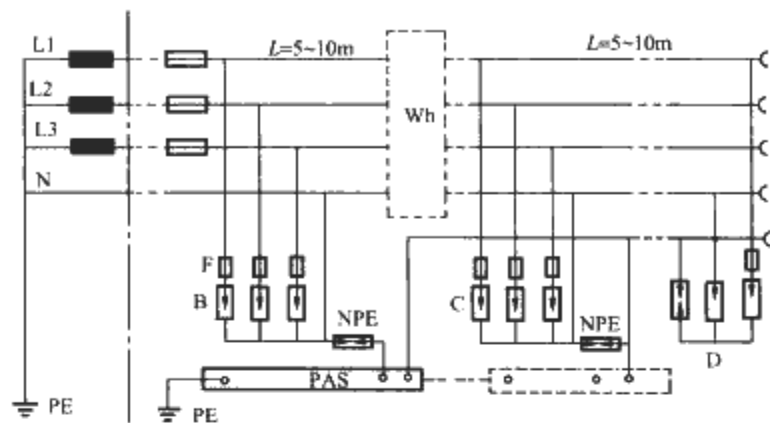


图 12.4-9 3+1 保护模式

### ②TN 系统的选型。

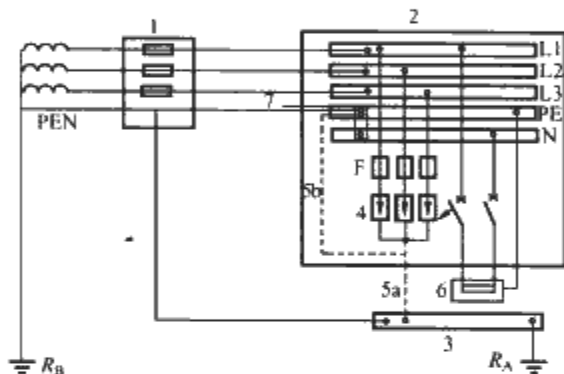


图 12.4-10 TN 系统中的浪涌保护器

1—装置的电源；2—配电盘；3—总接地端或总接地连接带；4—电涌保护器（SPD）；5—电涌保护器的接地连接，5a或5b；6—需要保护的设各；7—PE与N线的连接带；F—保护电涌保护器推荐的熔丝、断路器或剩余电流保护器； $R_A$ —本装置的接地电阻； $R_B$ —供电系统的接地电阻

注：当采用 TN-C-S 或 TN-S 系统时，在 N 与 PE 线连接处电涌保护器用三个，在其以后 N 与 PE 线分开处安装电涌保护器时用四个，即在 N 与 PE 线间增加一个，类似于图 12.4-7。

a. TN-S系统中浪涌保护器的选型。在TN-S系统中因为PE线(地线)与N线(中线)在变压器低压侧出线端相连并与大地连接。在后面的供电电路中PE线与N线分开敷设,因此在选用和安装浪涌保护器时需要分别在相线与PE线,N线和PE线之间进行保护。

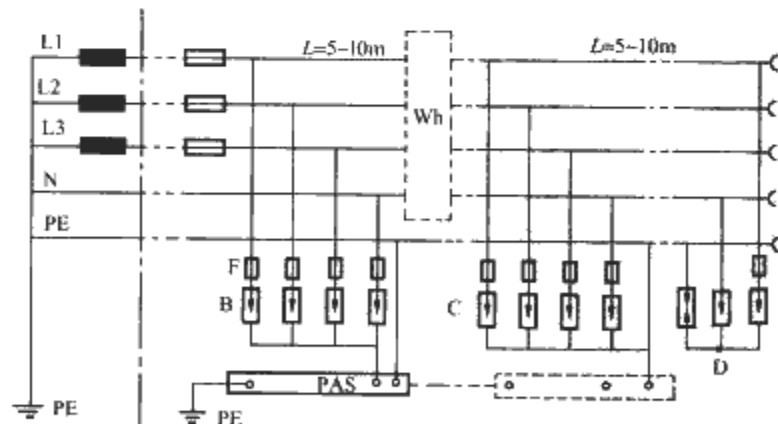


图 12.4-11 3+1 保护模式

b. TN-C-S系统中浪涌保护器的选型。TN-C-S系统的N线(中线)、PE线(地线)是从变压器低压侧就合为一条PEN线,此位置只需在相线与PEN线之间加装浪涌保护器,在进入建筑物总配电屏后,PEN线分N线和PE线两条进行独立布线,PEN线接于建筑物内总等电位接地母排

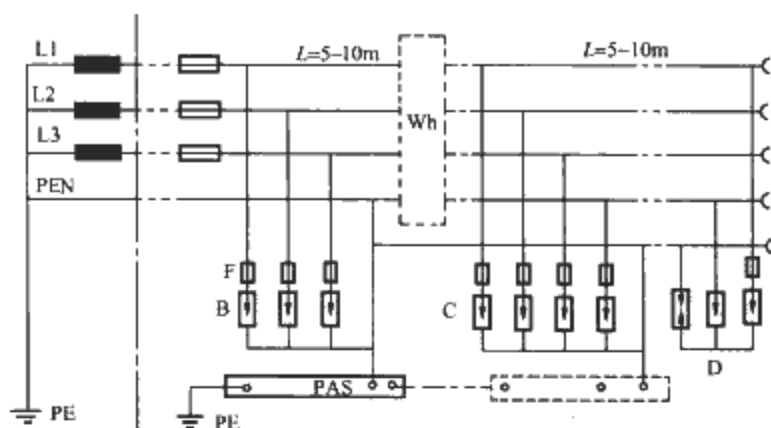


图 12.4-12 3+1 保护模式

并入地。因此进入配电屏以后，N线对PE线就需要安装浪涌保护器，此时可选TP40B/4。

### ③ IT 系统的选型。

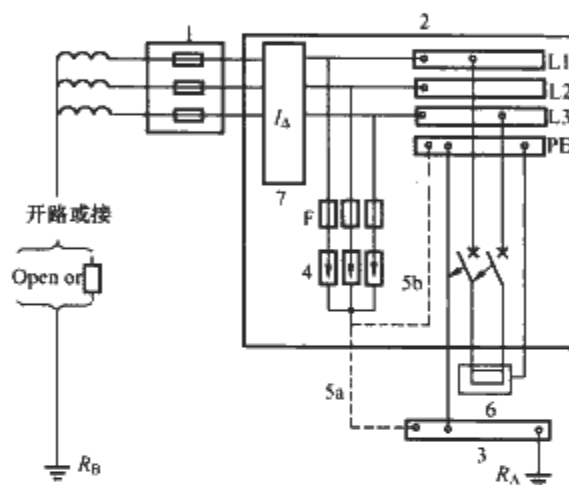


图 12.4-13 IT 系统中电涌保护器安装在  
剩余电流保护器的负荷侧

1—装置的电源；2—配电盘；3—总接地端或总接地连接带；  
4—电涌保护器（SPD）；5—电涌保护器的接地连接，5a 或 5b；6—需要保护的 设备；7—剩余电流保护器；  
F—保护电涌保护器推荐的熔丝、断路器或剩余电流保护器；  
 $R_A$ —本装置的接地电阻； $R_B$ —供电系统的接地电阻

## 6 降低入侵高电位的措施

### 6.1 配电变压器的防雷保护

配电变压器多采用 Y/Y<sub>0</sub> 的接线方式，高压侧的额定电压一般为 10kV，无中性点引出。低压侧为三相四线制，其额定电压为 220/380V。由于和配电变压器相连线路的冲击绝缘水平很低（木杆线路除外），线路遭受直击雷或感应雷所产生的过电压往往会由三相导线同时传入变压器，危及变压器的绝缘，特别是高压绕组中性点附近的绝缘。图 12.4-14 为配电变压器防雷的典型接线。

1) 为了限制由高压线路传入变压器的雷电过电压, 配

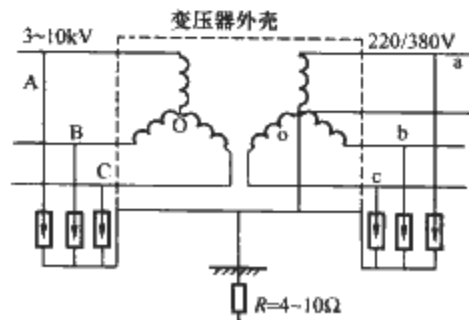


图 12.4-14 配电变压器防雷的典型接线

电变压器的高压侧必须装设阀式避雷器。由于 10kV 配电系统用的阀式避雷器的残压不高（雷电流为 5kA 时残压约为 17~50kV），而配电变压器的接地电阻  $R$  又较大（约为 4~10 $\Omega$ ），雷电流  $I$  流经接地电阻  $R$  所形成的压降  $IR$ （ $I=5\text{kA}$  时约为 20~50kV）将与避雷器的残压相当。为避免  $IR$  和避雷器的残压叠加在一起作用到变压器上，阀式避雷器的接地端应直接接在配电变压器的外壳上，这样作用在 3~10kV 侧主绝缘上就只有 10kV 避雷器的残压了。

2) 接地电阻上的压降会使变压器铁壳的电位大为抬高，可能发生由铁壳向 220/380V 低压侧的反击，故必须将低压侧的中性点也连在变压器的铁壳上。这样低压侧电位也被抬高，铁壳与低压侧之间就不会发生反击。注意此时铁壳的高电位可以经低压供电线路传到用户中去。

3) 为了限制由低压侧传入配电变压器的雷电过电压，配电变压器低压侧的相线和零线间也要加装避雷器。

4) 配电变压器的防雷接线必须采取四点（高压侧阀式避雷器的接地端、低压侧阀式避雷器的接地端、低压绕组的中性点以及变压器的外壳）联合接线的方式，注意高压避雷器和低压避雷器的接地端到铁壳间的连线应尽量短。

5) 雷电过电压由低压侧传入，低压侧避雷器动作，变压器低压侧绝缘未损坏而高压侧绝缘损坏的现象称为正变换过电压。

6) 雷电过电压由高压侧传入，高压侧避雷器动作，变压器高压侧绝缘损坏的现象称为反变换过电压。

7) 正变换过电压和反变换过电压均可用接在配电变压器低压侧相线和 N 线间的低压避雷器来限制。但低压侧避雷器的残压应按绝缘裕度低的变压器高压侧的绝缘水平选择。

8) 配电变压器的低压线路不可能遭受直接雷击（例如电缆出线）时，配电变压器的低压侧仍宜装设一组阀式避雷器。

## 6.2 电源保护

在低压配电网的防雷保护方式下，为降低 220/380V 低压电源进线中的残压，宜采用两级或多级保护的方式，使雷

电流逐级分流，残压逐级降低。图 12.4-15 为电源采用两级保护时的典型接线图。两级保护均可用氧化锌压敏电阻为保护元件，但第一级保护应能先于第二级保护动作，并应有比第二级保护大的通流能力。当两级保护间的电气距离不够大时，为确保第一级保护先于第二级保护动作，可在两级保护间加装电感线圈（十几微亨）。当采用 12.4-15 (b) 的接线方式时，中性线 N 对地间的保护元件也可采用放电间隙。

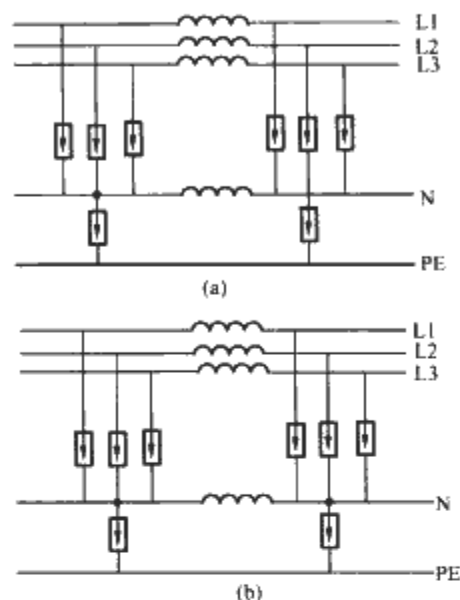


图 12.4-15 电源采用两级保护时的接线

(a) 可在两级保护间加装电感线圈；

(b) 可采用放电间隙

## 6.3 信号部分保护

对于信号系统宜分为粗保护和细保护。粗保护量级根据所属保护区的级别确定。细保护要根据电子设备的敏感度来进行确定。对卫星接收系统、电话系统、网络专线系统、监控系统等宜在所有信息系统进入楼宇的电缆内芯线端对地加装避雷器的保护，电缆中的空线对应接地，并做好屏蔽接地，同时注意系统设备的在线电压、传输速率、接口类型等，确保系统正常的工作。

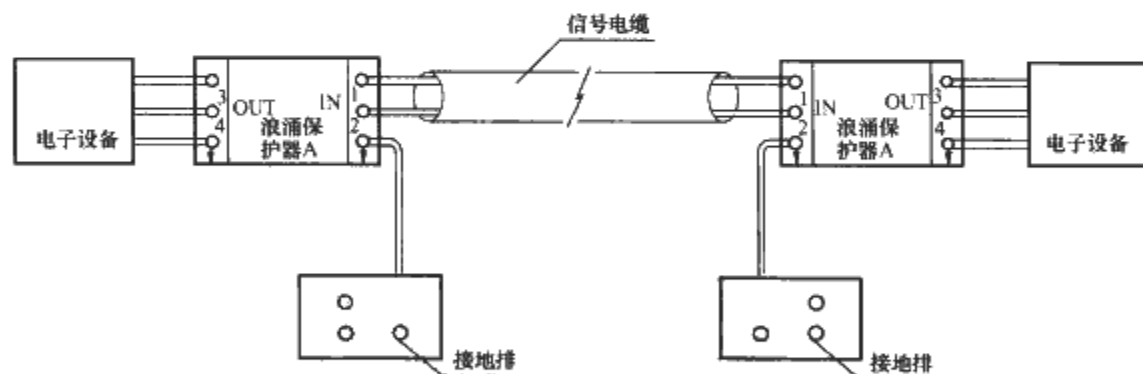


图 12.4-16 楼宇之间电缆连接方式下的防雷装置的布置

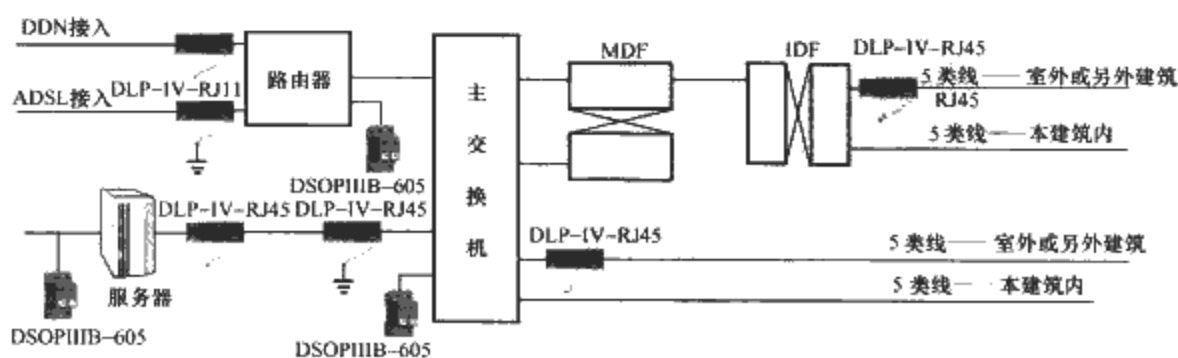


图 12.4-17 计算机网络系统防雷装置的布置

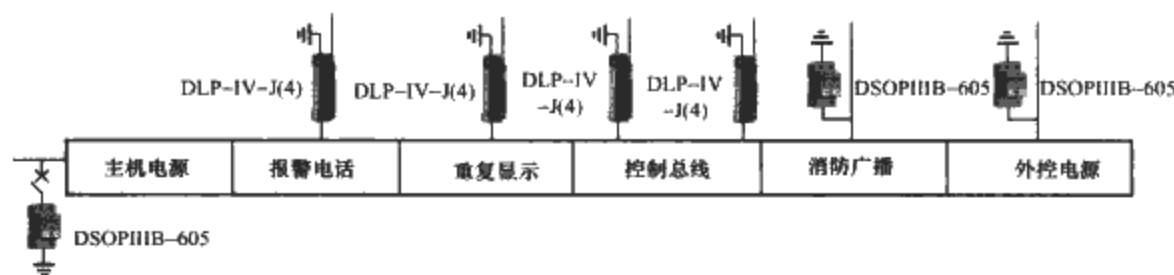


图 12.4-18 消防控制系统防雷装置的布置

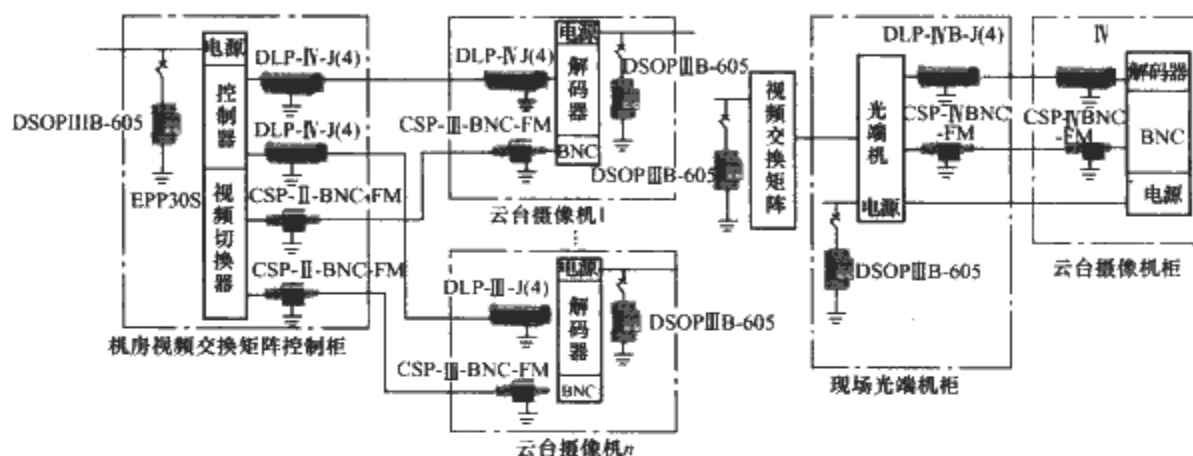


图 12.4-19 电视系统防雷装置的布置

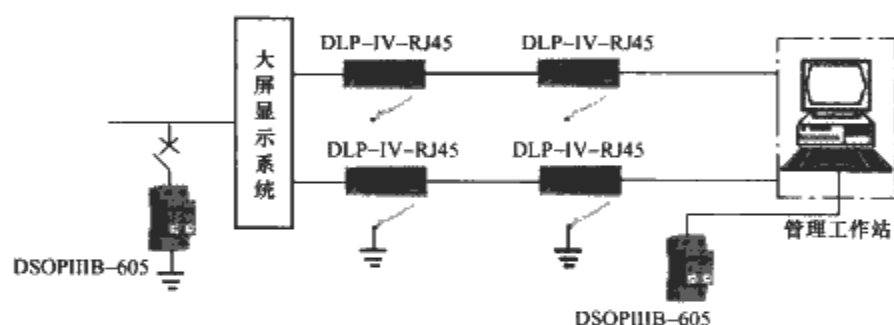


图 12.4-20 大屏幕显示系统防雷装置的布置

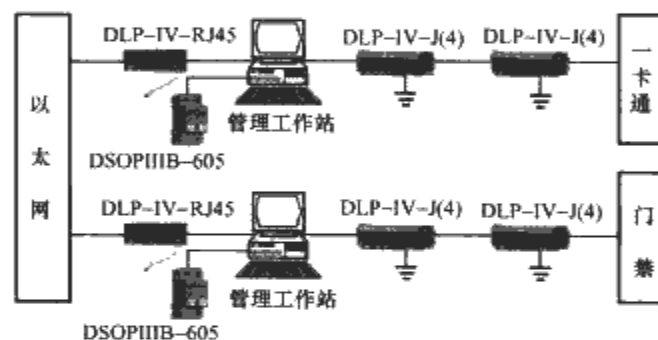


图 12.4-21 门禁管理系统防雷装置的布置

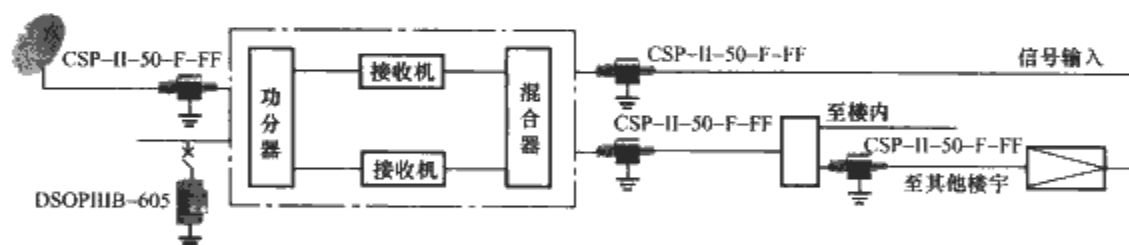


图 12.4-22 有线电视、卫星接收系统防雷装置的布置

计算机机房要求有一个良好的接地系统，所有防雷系统都需要通过接地系统把雷电流泄入大地，从而保护设备和人身安全。防干扰、防静电都需要通过建立良好的接地系统来解决。

一般整个建筑物的接地系统包括：建筑物地网（与法拉第网相接）、电源地（要求地阻小于  $10\Omega$ ）、逻辑地（也称信号地）、防雷地等。

1) 各地独立时，如果相互之间距离达不到规范要求，则应尽可能连接在一起。

2) 实际情况不允许直接连接的，可通过地电位均衡器实现等电位连接。

3) 为确保接地系统正常工作，每年应定期用接地电阻仪检测地阻值。

#### 6.4 通信线保护

为降低雷击通信线路的概率，通信线路进站前应采用直接埋地式电缆。应注意电缆的低电阻率为选择性雷击提供有利条件，使埋有电缆处大地的落雷概率上升。雷电可击穿电

缆上方的土壤直击到电缆上，也可在击中电缆附近的物体后经土壤反击到电缆上。另外雷击通信电缆附近的物体还会在通信电缆上形成感应过电压。

1) 为降低感应过电压的危害，通信电缆宜采用屏蔽电缆，屏蔽层的两端应接地，并在电缆芯线和屏蔽层间加装氧化锌压敏电阻（当电缆和用户或分局的低频通信系统连接时）或气体放电管（当电缆和包括微波站在内的高频通信系统连接时）。

2) 当电缆有多余芯线时，应将多余芯线与屏蔽层相连以加强屏蔽效果。

3) 如果所用通信电缆为无屏蔽层的橡皮或全塑电缆时，或只有薄金属箔无法焊接时，应将导线穿入埋地铁管中，并将备用芯线两端接地来实现屏蔽。

4) 为加大通信的安全性，通信线路也要采用多级保护。

图 12.4-23 所示是由三极气体放电管、双极 TVS 二极管和限流电阻组成的保护电路。雷电流在电阻的限流作用下，先经气体放电管泄入大地，残余电流通过 TVS 二极管

时,由TVS二极管实现对电压的箝位。

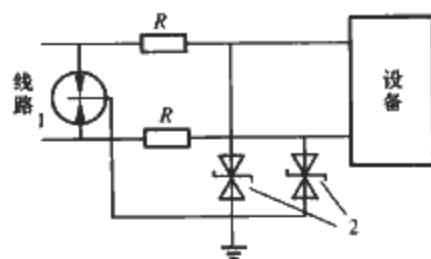


图 12.4-23 通信线路的保护

1—气体放电管; 2—TVS 二极管; R—限流电阻

## 6.5 天馈线保护

1) 利用由高通滤波器和低通滤波器的组合电路作为天馈线保护装置。如图 12.4-24 所示,在雷电波作用下高通滤波器开路,低通滤波器导通将雷电过电压短接,使进入发射机的横向过电压得到限制。在天线的工作频率下,高通滤波器导通,低通滤波器开路,保证了天线的正常发射。

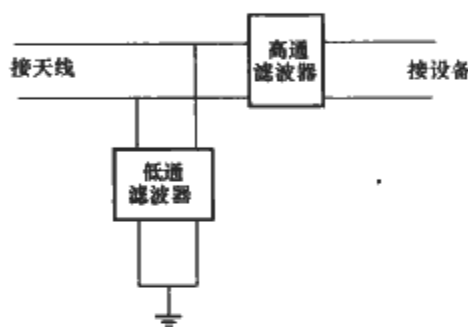


图 12.4-24 天馈线保护

2) 当发射频率较高(波长短)且为单一频率时,低通滤波器可以简化为一根长度为 $\lambda/4$ ( $\lambda$ 为波长)的导线,如图 12.4-25 所示。这一导线对高频发射信号来说相当于开路,而对雷电波来说相当于短接。

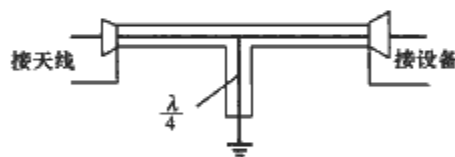


图 12.4-25  $\lambda/4$  型避雷器

3) 这种天线保护装置只能限制出现在信号线间的横向过电压(或差模过电压),不能限制雷击时由于地电位升高和接地引下线压降而造成的纵向过电压(或共模过电压)。

4) 将微波塔上同轴天馈线金属外皮的上端及下端分别就近与铁塔相连,在机房入口处与接地体再连接一次等均压措施并不能使纵向过电压得到实质性的降低。

## 7 屏蔽、接地和等电位联结的要求

### 7.1 屏蔽要求

1) 为减少电磁感应对建筑物内重要设施的影响,宜采取的基本屏蔽措施有:建筑物和房间的外部增设屏蔽板网;以合适的路径敷设线路,增设线路屏蔽。

2) 为改进电磁环境,所有与建筑物组合在一起的大尺寸金属件都应等电位联结在一起,并与防雷装置相连,但第一类防雷建筑物的独立避雷针及其接地装置除外。如屋顶金属表面、立面金属表面、混凝土内钢筋和金属门窗框架。

3) 在需要保护的空間内,当采用屏蔽电缆时其屏蔽层应至少在两端并宜在防雷区交界处做等电位联结,当系统要求只在一端做等电位联结时,应采用双层屏蔽,外层屏蔽按

前述要求处理。

4) 在分开的各建筑物之间的非屏蔽电缆应敷设在金属管道内,如敷设在金属管、金属格栅或钢筋成格栅形的混凝土管道内,这些金属物从一端到另一端应是导电贯通的,并分别连到各分开的建筑物的等电位联结带上。电缆屏蔽层应分别连到这些带上。

5) 在建筑物或房间的大空间屏蔽是由诸如金属支撑物、金属框架或钢筋混凝土的钢筋等自然构件组成时,这些构件构成一个格栅形大空间屏蔽,穿入这类屏蔽的导电金属物应就近与其做等电位联结。

当对屏蔽效率未做试验和理论研究时,磁场强度的衰减应参照图 12.4-26 按下列方法计算。

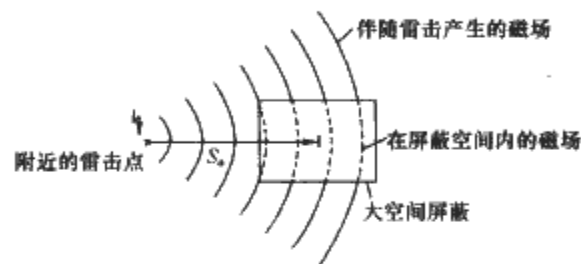


图 12.4-26 附近雷击时环境情况

①在闪电击于格栅形大空间屏蔽以外附近的情况下,当无屏蔽时所产生的无衰减磁场强度 $H_0$ ,相当于处在LPZ0区内的磁场强度,应按下式计算:

$$H_0 = \frac{i_0}{2\pi S_a} \quad (\text{A/m}) \quad (12.4-5)$$

式中, $i_0$ 为雷电流,A; $S_a$ 为雷击点与屏蔽空间之间的平均距离,m。

当有屏蔽时,在格栅形大空间屏蔽内,即在LPZ1区内的磁场强度从 $H_0$ 减为 $H_1$ ,其值应按下式计算

$$H_1 = \frac{H_0}{10^{SF/20}} \quad (\text{A/m}) \quad (12.4-6)$$

式中,SF为屏蔽系数,dB。

表 12.4-3 列出了不同频率下采用不同材料作屏蔽层时的SF计算值,这个值仅对在LPZ1区内距屏蔽层有一安全距离 $d_{s/1}$ 的安全空间VS内才有效。其中 $d_{s/1}$ 应按下式计算

$$d_{s/1} = wSF/10 \quad (\text{m}) \quad (12.4-7)$$

式中,w为格栅形屏蔽的网格宽,m。

表 12.4-3 格栅形大空间屏蔽的屏蔽系数

材 料	SF (dB)	
	25kHz (见注 1)	1MHz (见注 2)
铜/铝 (见注 1)	$20\lg (8.5/w)$	$20\lg (8.5/w)$
钢 (见注 2)	$20\lg (8.5/w) / \sqrt{1+18 \times 10^{-6}/r^2}$	$20\lg (8.5/w)$

注 1. 适用于首次雷击的磁场。

2. 适用于后续雷击的磁场。

3. 钢的相对磁导率 $\mu_r \approx 200$ 。

4. w为格栅形屏蔽的网格宽m,适用于 $W \leq 5\text{m}$ 。

5. r为格栅形屏蔽网格导体的半径,m。

②在闪电直接击在位于LPZ0A区的格栅形大空间屏蔽上的情况时,其内部LPZ1区内Vs空间内某点的磁场强度 $H_1$ 应按下式计算

$$H_1 = k_H I_0 w / (d_w \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (12.4-8)$$

式中, $d_r$ 为被考虑的点距LPZ1区屏蔽顶的最短距离,m;

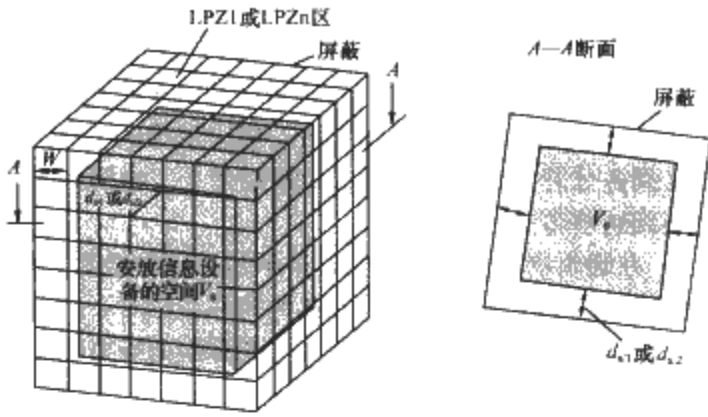


图 12.4-27 在 LPZ1 或 LPZn 区内放信息设备的空间

$d_w$  为被考虑的点距 LPZ1 区屏蔽壁的最短距离, m;  $k_H$  为形状系数,  $1/\sqrt{m}$ , 取  $k_H=0.01$  ( $1/\sqrt{m}$ );  $w$  为 LPZ1 区格栅形屏蔽的网格宽, m。

上式计算值仅对距屏蔽格栅有一安全距离  $d_{s/2}$  的空间  $V_s$  内有效,  $d_{s/2}$  应符合下式的要求

$$d_{s/2}=w \quad (\text{m}) \quad (12.4-9)$$

信息设备应仅安装在  $V_s$  空间内, 如图 12.4-28 所示。信息设备的干扰源不应取紧靠格栅的特强磁场强度。

③流过包围 LPZ2 区及以上区的格栅形屏蔽的分雷电流将不会有实质性的影响作用, 处在 LPZn 区内 LPZn+1 区的磁场强度将由 LPZn 区内的磁场强度  $H_n$  减至 LPZn+1 区内的  $H_{n+1}$ , 其值可近似地按下式计算

$$H_{n+1}=\frac{H_n}{10^{S_F/20}} \quad (\text{A/m}) \quad (12.4-10)$$

上式适用于 LPZn+1 区内距其屏蔽有一安全距离  $d_{s/1}$  的空间  $V_s$ 。

④在屏蔽线路从室外的 LPZ0A 或 LPZ0B 区进入 LPZ1 区的情况下, 线路屏蔽层的截面  $S_C$  应符合下式规定

$$S_C \geq I_i \rho_c l_C 10^6 / U_b \quad (\text{mm}^2) \quad (12.4-11)$$

式中,  $I_i$  为流入屏蔽层的雷电流, kA;  $\rho_c$  为屏蔽层的电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ , 20℃ 时铁为  $138 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ , 铜为  $17.24 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ , 铝为  $28.264 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ ;  $l_C$  为线路长度, m, 见表 12.4-4;  $U_b$  为线路绝缘的耐冲击电压值, kV, 见表 12.4-5; 通信线路纸绝缘为 1.5kV, 塑料绝缘为 5kV。

表 12.4-4 按屏蔽层敷设条件确定的线路长度

屏蔽层敷设条件	$l_C$ (m)
屏蔽层与电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{m}$ ) 的土壤直接接触	当实际长度大于 $8\sqrt{\rho}$ 时, 取 $l_C=8\sqrt{\rho}$ ;
	当实际长度小于 $8\sqrt{\rho}$ 时, 取 $l_C$ =线路实际长度
屏蔽层与土壤隔离或敷设在大气中	$l_C$ =建筑物与屏蔽层最近接地之间的距离

表 12.4-5 电缆绝缘的耐冲击电压值

电缆的额定电压 (kV)	绝缘的耐冲击电压 $U_b$ (kV)
$\leq 0.05$	5
0.22	15
10	75
15	95
20	125

注 当流入线路的雷电流大于以下数值时, 绝缘可能产生不可接受的温升:

对屏蔽线路  $I_i=8S_C$  (12.4-12)

对无屏蔽的线路  $I_i'=8n'S_C$  (12.4-13)

式中,  $I_i$  为流入屏蔽层的雷电流, kA;  $S_C$  为屏蔽层的截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $I_i'$  为流入无屏蔽线路的总雷电流, kA;  $n'$  为线路导线的根数;  $S_C$  为每根导线的截面积,  $\text{mm}^2$ 。

7.2 接地要求

1) 每幢建筑物本身应采用共用接地系统, 其原则构成如图 12.4-28 所示。

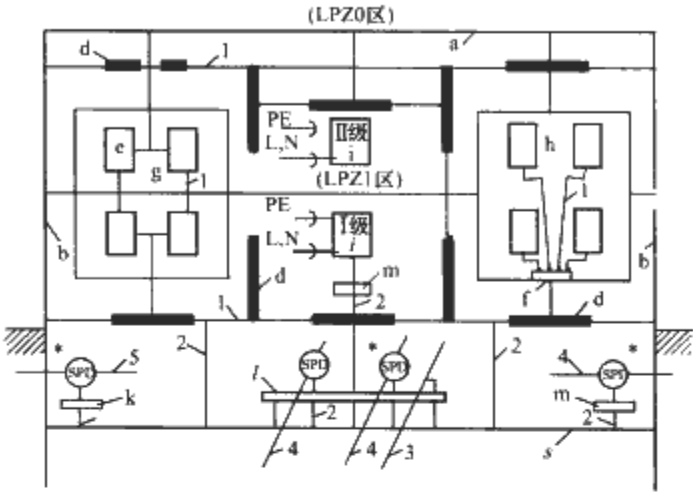


图 12.4-28 接地、等电位联结和共用接地系统的构成

a—防雷装置的接闪器以及可能是建筑物空间屏蔽的一部分, 如金属屋顶; b—防雷装置的引下线以及可能是建筑物空间屏蔽的一部分, 如金属立面、墙内钢筋; c—防雷装置的接地装置 (接地体网络、共用接地体网络) 以及可能是建筑物空间屏蔽的一部分, 如基础内钢筋和基础接地体; d—内部导电物体, 在建筑物内及其上不包括电气装置的金属装置, 如电梯轨道、起重机、金属地面、金属门框架、各种服务性设施的金属管道、金属电缆桥架、地面、墙和天花板的钢筋; e—局部信息系统的金属组件, 如箱体、壳体、机架; f—代表局部等电位联结带单点连接的接地基准点 (ERP); g—局部信息系统的网形等电位联结结构; h—局部信息系统的星形等电位联结结构; i—固定安装引入 PE 线的 I 级设备和不引入 PE 线的 II 级设备; j—主要供电力线路和电力设备等电位联结用的总接地带、总接地母线、总等电位联结带。也可用作共用等电位联结带; k—主要供信息线路和信息设备等电位联结用的环形等电位联结带、水平等电位联结导体, 在特定情况下, 采用金属板。也可用作共用等电位联结带。用接地线多次接到接地系统上做等电位联结, 宜每隔 5m 连一次; l—局部等电位联结带; m—等电位联结导体; n—接地线; o—服务性设施的金属管道; p—信息线路或电缆; q—电力线路或电缆; \*—进入 LPZ1 区处, 用于管道、电力和通信线路或电缆等外来服务性设施的等电位联结

2) 当互相邻近的建筑物之间有电力和通信电缆连通时, 宜将其接地装置互相连接。

3) 等电位联结要求。

穿过各防雷区界面的金属物和系统, 以及在一个防雷区内部的金属物和系统均应在界面处做符合下列要求的等电位联结。

①所有进入建筑物的外来导电物均应在 LPZ0A 或 LPZ0B 与 LPZ1 区的界面处做等电位联结。当外来导电物、电力线、通信线在不同地点进入建筑物时, 宜设若干等电位联结带, 并应就近连到环形接地体、内部环形导体或此类钢筋上。它们在电气上是贯通的并连到接地体, 含基础接地体。

环形接地体和内部环形导体应连到钢筋或金属立面等其他屏蔽构件上, 宜每隔 5m 连接一次。

对各类防雷建筑物, 各种联结导体的截面应不小于表 12.4-6 的规定。

铜或镀锌钢等电位联结带的截面积应不小于  $50\text{mm}^2$ 。

当建筑物内有信息系统时, 在那些要求雷击电磁脉冲影响最小之处, 等电位联结带宜采用金属板, 并与钢筋或其他屏蔽构件作多点连接。

表 12.4-6 各种联结导体的最小截面积 单位: mm<sup>2</sup>

材 料	等电位联结带之间和等电位联结带与接地装置之间的联结导体, 流过大于或等于 25% 总雷电流的等电位联结导体	内部金属装置与等电位联结带之间的联结导体, 流过小于 25% 总雷电流的等电位联结导体
铜	16	6
铝	25	10
铁	50	16

在 LPZ0A 与 LPZ1 区的界面处做等电位联结用的接线夹和电涌保护器, 应采用雷电流参量估算通过它们的分流值。当无法估算时, 可按以下方法确定: 全部雷电流  $I$  的 50% 流入建筑物防雷装置的接地装置, 其另 50% 即  $I_s$  分配于引入建筑物的各种外来导电物、电力线、通信线等设施。流入每一设施的电流  $I_i$  等于  $I_s/n$ ,  $n$  为上述设施的个数。流经无屏蔽电缆芯线的电流  $I_v$  等于电流  $I_i$  除以芯线数  $m$ , 即  $I_v = I_i/m$  (见图 12.4-29); 对有屏蔽的电缆, 绝大部分的电流将沿屏蔽层流走。尚应考虑沿各种设施引入建筑物的雷电流。应采用以上两值的较大者。

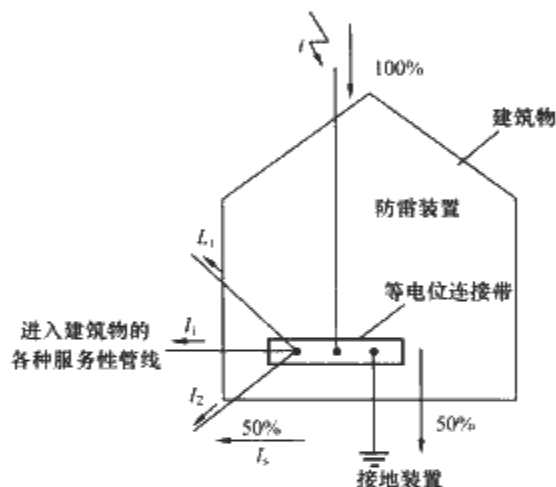


图 12.4-29 进入建筑物的各种设施之间的雷电流分配

在 LPZ0B 与 LPZ1 区的界面处做等电位联结用的线夹和浪涌保护器仅应按上述方法考虑雷闪击中建筑物防雷装置时通过它们的雷电流; 可不考虑沿全长处在 LPZ0B 区的各种设施引入建筑物的雷电流, 其值仅为感应电流和小部分雷电流。

②各后续防雷区界面处的等电位联结也应采用上述原则。

穿过防雷区界面的所有导电物、电力线、通信线均应在界面处做等电位联结。应采用一局部等电位联结带做等电位联结, 各种屏蔽结构或设备外壳等其他局部金属物也连到该带。

用于等电位联结的接线夹和浪涌保护器应分别估算通过的雷电流。

③所有电梯轨道、吊车、金属地板、金属门框架、设施管道、电缆桥架等大尺寸的内部导电物, 其等电位联结应以最短路径连到最近的等电位联结带或其他已做了等电位联结的金属物, 各导电物之间宜附加多次互相连接。

④信息系统的所有外露导电物应建立等电位联结网络。由于按照上述规定实现的等电位联结网络均有通大地的连接, 每个等电位联结网不宜设单独的接地装置。

信息系统的各种箱体、壳体、机架等金属组件与建筑物的共用接地系统的等电位联结应采用以下两种基本形式的等电位联结网络之一 (见图 12.4-30), 即 S 型星形结构和 M 型网状结构。

当采用 S 型等电位联结网络时, 信息系统的所有金属组件, 除等电位联结点外, 应与共用接地系统的各组件有大于 10kV、1.2/50μs 的绝缘。

通常 S 型等电位联结网络可用于相对较小、限于局部的系统, 而且所有设施管线和电缆宜从 ERP 处附近进入该信息系统。

S 型等电位联结网络应仅通过唯一的一点, 即接地基准点 ERP 组合到共用接地系统中去形成 S<sub>a</sub> 型等电位联结。在这种情况下, 设备之间的所有线路和电缆当无屏蔽时宜按星形结构与各等电位联结线平行敷设, 以免产生感应环路。用于限制从线路传导来的过电压的浪涌保护器引线的连接点应使加到被保护设备上的浪涌电压最小。

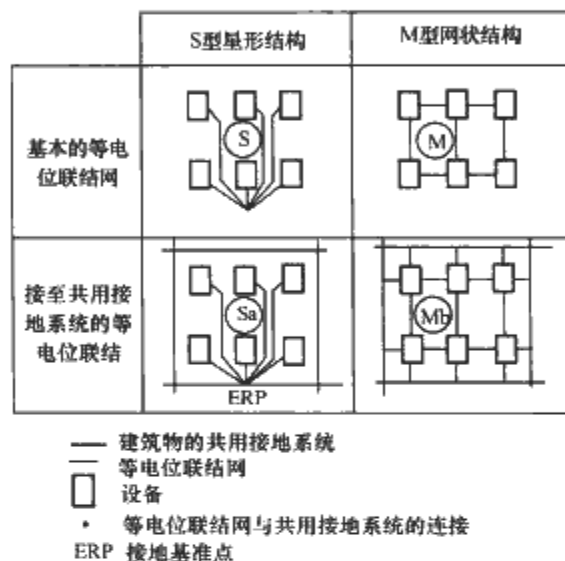


图 12.4-30 信息系统等电位联结的基本方法

当采用 M 型等电位联结网络时, 一系统的各金属组件不应与共用接地系统各组件绝缘。M 型等电位联结网络应通过多点联结组合到共用接地系统中去, 并形成 M<sub>m</sub> 型等电位联结。

通常 M 型等电位联结网络宜用于延伸较大的开环系统, 而且在设备之间敷设许多线路和电缆, 以及设施和电缆从若干点进入该信息系统。

在复杂系统中, M 型和 S 型等电位联结网络这两种类型的优点可组合在一起, 如图 12.4-32 所示。一个 S 型局部等电位联结网络可与一个 M 型网状结构组合在一起 (见图 12.4-31 中的组合 1)。一个 M 型局部等电位联结网络可仅经一接地基准点 ERP 与共用接地系统相连 (见图 12.4-31 中的组合 2), 该网络的所有金属组件和设备应与共用接地系统各组件有大于 10kV、1.2/50μs 的绝缘, 而且所有设施

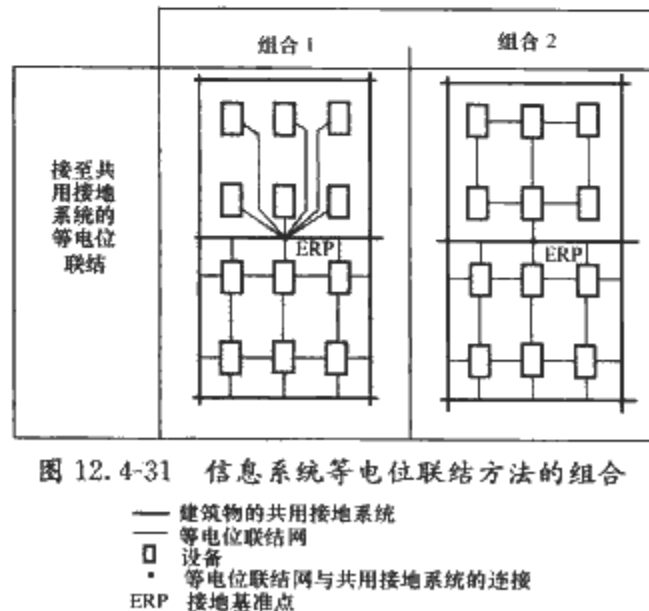


图 12.4-31 信息系统等电位联结方法的组合



和电缆应从接地基准点附近进入该信息系统,低频率和杂散分布电容起次要影响的系统可采用这种方法。

## 8 建筑物内的电位均衡方法

所有的金属装置都应该保持电位相等。对建筑物的防雷保护来说,这要比接地电阻重要得多。接地电阻的最大允许值有时必须根据对建筑物以外其他设备的影响情况而规定。

保持电位均衡的一个实际的方法是在建筑物最低的一层设置一个公共接地点或接地母线,所有的金属装置都必须与之连接。这些金属装置包括各种型式的管道(水管、供热管等)电缆外皮、供电系统的中性线或保护接地线以及所有埋在地下的延伸的金属物体。所有这些埋在地下的金属装置都有助于降低接地电阻。但是,有些装置如煤气管道和供电系统的某些中性线,在某些条件下不应直接与公共接地点连接在一起,而要经过保护间隙才行,但在有些国家中,则大力推荐将煤气管道与防雷保护系统做等电位联结(戈尔德,1973)。不同材料的接地导体应不连接在一起,以防电解腐蚀。只在雷电流通过的时间内,不同材料的导体才短时相连。因此,这只要装个保护间隙就行了。供电的进户线应在引入建筑物的入口处安装避雷器。

为使升高的地电位不致于传至公用事业的金属管道,特别是煤气管道,应以长于管道的绝缘材料把管道遮蔽起来。这一绝缘的表面闪络强度在空气中约为  $500\text{kV/m}$ ,在土中约为  $300\text{kV/m}$ 。

使电位均衡的最好方法是利用环形或基础接地这样的接地系统。引下线都应接在这种环形接地网上,如不需要更低的接地电阻,就无需附加别的接地极了。环形接地网最好埋设在建筑物的外面,如果完全不可能时,可将引下线连接在最低点的管道或其他金属装置上。

本章原则上规定要在各防雷区界面处做等电位联结,但由于工艺要求或其他原因,被保护设备的安装位置不会正好设在界面处而是设在其附近,在这种情况下,当线路能承受所发生的浪涌电压时,浪涌保护器可安装在被保护设备处,而线路的金属保护层或屏蔽层宜首先于界面处做一次等电位联结。

在防雷区 LPZ0A、LPZ0B、LPZ1 交界处的等电位联结,所有进入该建筑物的外来导电物都应做等电位联结。当外来导电物和电力线、通讯线在不同地点进入该建筑物时,则需要设若干等电位联结带,它们应就近接到环形接地体上,也应与钢筋和金属立面相连。如没有安装环形接地体,这些等电位联结带应连至各自的接地体,并用一内部的环形导体(或用一副环形导体)将其相互连接起来。对从地面以上进入的导电物,等电位联结带应连接到设于墙内侧或墙外的水平环形导体上,当有引下线和钢筋时,该水平环形导体要连到引下线和钢筋上。当外来导电物从电力线、通信线进入建筑物时,建议在同一位置做等电位联结,这对几乎无屏蔽的建筑物是特别重要的。设在进入建筑物那一点上的等电位联结带,应就近连接到接地体,当有钢筋时连到钢筋上。

## 第5章 建筑物电子信息系统 防雷防护等级的确定

### 1 风险评估计算的意义

随着我国现代化水平的不断提高,建筑物内安装的各种信息系统,电子计算机系统设备越来越多,技术越来越复杂。而这些电子信息系统设备的工作电压较低,耐压水平也很低,因此极易受到雷电电磁脉冲的危害,很容易损坏相应的电子信息系统设备,造成系统不能工作,同时也有可能造成人身伤害事故。

关于防 LEMP 的防护等级计算问题,在《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2004)中已明确规定,在工程需要时,应进行风险评估计算。在 ITU 标准和 IEC 标准中,均有各自不同的计算方法,但都比较复杂。在新规范中选用的计算方法,相对比较简单,而且在计算中所涉及的  $N$ 、 $N_g$ 、 $A_e$  等参数的计算与在防直击雷的计算中相同,只需增加  $A'_e$ 、 $N_c$  的计算内容。所以,下面将介绍《建筑物电子信息系统防雷技术规范》选用的计算方法。

### 2 电子信息系统雷电电磁脉冲防护等级的风险评估计算方法

#### (1) 建筑物及入户设施年预计雷击次数 ( $N$ ) 的计算

$$N = K N_g (A_e + A'_e) = K (0.024 T_d^{1.3}) (A_e + A'_e) \quad (12.5-1)$$

式中,  $K$  为校正系数,在一般情况下取 1,在下列情况下取相应数值:位于旷野孤立的建筑物取 2;金属屋面的砖木结构的建筑物取 1.7;位于河过、湖边、山坡下或山地中土的电阻率较小处,地下水露头处、土山顶部、山谷风口等处的建筑物以及特别潮湿地带的建筑物取 1.5;  $N_g$  为建筑物所处地区雷击大地的年平均密度,次/( $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ );  $T_d$  为年平均雷暴日,根据当地气象台、站资料确定,  $d/a$ ;  $A_e$  为建筑物截收相同雷击次数的等效面积,  $\text{km}^2$ ;  $A'_e$  为建筑物入户设施(电源线、信号线)的截收面积,  $\text{km}^2$ 。

#### (2) 等效面积 $A_e$ 的计算方法

当建筑物的高  $H < 100\text{m}$  时,其每边的扩大宽度 ( $D$ ) 和等效面积 ( $A_e$ ) 应按下列公式计算确定

$$D = \sqrt{H(200-H)} \quad (12.5-2)$$

$$A_e = [LW + 2(L+W)\sqrt{H(200-H)} + \pi H(200-H)] \times 10^{-6} \quad (12.5-3)$$

式中,  $L$ 、 $W$ 、 $H$  分别为建筑物的长、宽、高,  $\text{m}$ 。

当建筑物的高  $H \geq 100\text{m}$  时,其每边的扩大宽高应按建筑物的高  $H$  计算;建筑物的等效面积应按下式确定

$$A_e = [LW + 2H(L+W) + \pi H^2] \times 10^{-6} \quad (12.5-4)$$

当建筑物各部位的高不同时,应沿建筑物周边逐点算出最大扩大宽度,其等效面积  $A_e$  应按每点最大扩大宽度外端的连接线所包围的面积计算。建筑物扩大后的面积如图 12.2-1 中周边虚线所包围的面积。

建筑物截收相同雷击的等效面积  $A_e$  的计算参照第 2 章的图 12.2-1。

入户设施的截收面积  $A'_e$  见表 12.5-1。

表 12.5-1 入户设施的截收面积

线路类型	有效截收面积 $A'_e$ ( $\text{km}^2$ )
低压架空电缆	$2000L \times 10^{-6}$
高压架空电缆(至现场变电所)	$500L \times 10^{-6}$
低压埋地电缆	$2d_s L \times 10^{-6}$
高压埋地电缆(至现场变电所)	$0.1d_s L \times 10^{-6}$
架空信号线	$2000L \times 10^{-6}$
埋地信号线	$2d_s L \times 10^{-6}$
无金属铠装或带金属芯	0

注 1.  $L$  是线路从所考虑建筑物至网络的第一个分支点或相邻建筑物的长度,最大值为  $1000\text{m}$ ,当  $L$  未知时,应采用  $L=1000\text{m}$ 。  
2.  $d_s$  的单位为  $\text{m}$ ,其数值等于土壤电阻率,最大值取  $500$ 。

#### (3) $N_c$ 的计算

因直击雷和雷电电磁脉冲引起电子信息系统设备损坏的可接受的最大年平均雷击次数  $N_c$  的计算,可按式确定

$$N_c = \frac{5.8 \times 10^{-1.5}}{C} \quad (12.5-5)$$

式中,  $C$  为各类因子。

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6$$

$C_1$  为信息系统所在建筑物材料因子。当建筑物屋顶和主体结构均为金属材料时,  $C_1$  取  $0.5$ ;当建筑物屋顶和主体结构均为钢筋混凝土时,  $C_1$  取  $1.0$ ;当建筑物为砖混结构时,  $C_1$  取  $1.5$ ;当建筑物为砖木结构时,  $C_1$  取  $2.0$ ;当建筑物为木结构时,  $C_1$  取  $2.5$ 。

$C_2$  为信息系统重要程度因子。等电位联结和接地以及屏蔽措施较完善的设备,  $C_2$  取  $0.5$ ;使用架空线缆的设备,  $C_2$  取  $1.0$ ;集成化程度较高的低电压微电流的设备,  $C_2$  取  $3.0$ 。

$C_3$  为电子信息系统设备耐冲击类型和抗冲击过电压能力因子。一般,  $C_3$  取  $0.5$ ;较弱,  $C_3$  取  $1.0$ ;相当弱,  $C_3$  取  $3.0$ 。

注:“一般”指设备为 GB/T 16935.1—1997 中所指的 I 类安装位置设备,且采取了较完善的等电位联结、接地、线缆屏蔽措施;“较弱”指设备为 GB/T 16935.1—1997 中所指的 I 类安装位置的设备,但使用架空线缆,因而风险大;“相当弱”指设备集成化程度很高,通过低电压、微电流进行逻辑运算的计算机或通信设备。

$C_4$  为电子信息系统设备所在雷电防护区 (LPZ) 的因子。设备在 LPZ2 或更高层雷电防护区内时,  $C_4$  取  $0.5$ ;设备在 LPZ1 区内时,  $C_4$  取  $1.0$ ;设备在 LPZ0B 区内时,  $C_4$  取  $1.5 \sim 2.0$ 。 $C_5$  为电子信息系统发生雷击事故的后果因子。信息系统业务中断不会产生不良后果时,  $C_5$  取  $0.5$ ;信息系统业务原则上不允许中断,但在中断后无严重后果时,  $C_5$  取  $1.0$ ;信息系统业务不允许中断,中断后会产生严重后果时,  $C_5$  取  $1.5 \sim 2.0$ 。

$C_6$  表示区域雷暴等级因子。少雷区  $C_6$  取  $0.8$ ;中雷区  $C_6$  取  $1$ ;多雷区  $C_6$  取  $1.2$ ;强雷区  $C_6$  取  $1.4$ 。

#### (4) E 值计算

E 值为防雷装置 (LPS) 的拦截效率。雷电电磁脉冲防护等级应按下列公式计算 E 值

$$E=1-N_c/N \quad (12.4-6)$$

- 1) 当  $E>0.98$  时, 定为 A 级。
- 2) 当  $0.90<E\leq 0.98$  时, 定为 B 级。
- 3) 当  $0.80<E\leq 0.90$  时, 定为 C 级。
- 4) 当  $E\leq 0.80$  时, 定为 D 级。

### 3 雷电防护等级的确定原则

(1) 电子信息设备对雷电电磁脉冲的防护等级可按表 12.5-2 进行选择。

表 12.5-2 电子信息设备所在建筑物对雷电防护等级的选择表

雷电防护等级	电子信息设备
A 级	(1) 大型计算、大型通信枢纽、国家金融中心、银行机场、大型港口、火车枢纽站等 (2) 甲级安全防范系统, 如国家文物、档案库的闭路电视监控和报警系统 (3) 大型电子医疗设备、五星级宾馆
B 级	(1) 中型计算中心、中型通信枢纽、移动通信基站、大型体育场 (馆) 监控系统、证券中心 (2) 乙型安全防范系统, 如省级文物、档案库的闭路电视监控和报警系统 (3) 雷达站、微波站、高速公路监控和收费系统 (4) 中型电子医疗设备 (5) 四星级宾馆
C 级	(1) 小型通信枢纽、电信局 (2) 大中型有线电视 (3) 三星级以下宾馆
D 级	除上述 A、B、C 级以外一般用途的电子信息系统设备

将  $N$  和  $N_c$  进行比较, 确定电子信息设备是否需要安装雷电防护装置。

$N\leq N_c$  则不需要安装雷电防护装置。

$N>N_c$  则需要安装雷电防护装置。

(2) 建筑物电子信息系统对 LEMP 防护等级选择说明

1) 应从多方面的因素综合分析确定建筑物电子信息系统雷电电磁脉冲防护等级, 并考虑下列几个因素:

- ① 应根据信息系统设备对 LEMP 的敏感度和抗干扰强度的要求分析。
- ② 按建筑物防雷 (外部) 分类条件分析。
- ③ 根据建筑物用户负荷分级条件分析。
- ④ 根据建筑物的功能性质、建筑高度、当地气象条件来分析。
- ⑤ 用户对信息系统设备安全度的要求 (二次设计确定)。
- ⑥ 对信息系统风险评估计算结果分析。

2) 根据以上条件, 综合分析各种因素, 从定性及定量两个方面来选择信息系统雷电防护级别, 以采取相适配的技术措施; 做到安全可靠, 技术先进, 经济适用, 维护方便。

### 4 建筑物电子信息系统工程雷电防护分级设计方案的选择

见表 12.5-3, 说明如下:

- 1) ○ 表示有此功能。
- 2) 表中甲、乙、丙级标准是根据《智能建筑设计标准》(GB/T 50314—2000) 中的设计分级而定。
- 3) 火灾报警系统中的特级、一级、二级保护对象是根据《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—1998) 中的设计分级而定。
- 4) 有线电视系统分级标准是根据用户数量来分类。
  - ① 大型系统。用户数  $\geq 10\,000$ 。
  - ② 大中型系统。  $10\,000 > \text{用户数} \geq 2000$ 。
  - ③ 中型系统。  $2\,000 > \text{用户数} \geq 300$ 。
  - ④ 小型系统。用户数  $< 300$ 。
- ⑤ 其他分类是按建筑物性质的重要性及用户用电负荷等级来划分。

表 12.5-3 建筑物电子信息系统工程雷电防护分级设计方案选择表

信息系统类型	防护等级	系 统 内 容	技术措施			等电位联结与共用接地			屏蔽及合理布线			电源配电系统保护 (SPD)			信号端口保护 SPD	
			总等电位联结	局部等电位联结网络	共用接地系统 R (Ω)	外部屏蔽	内部屏蔽	合理布线	交流配电	直流配电	天馈信号	信号线路	计算机网络			
计算机网络及应用	A	大型计算机中心, 国家级办公、会议中心, 国宾馆, 四星级以上宾馆, 大型机房, 火车站, 银行, 证券中心, 大型通信枢纽, 体育中心	○	○ Mm 组合	1	○	○	○	3~4 级	2 级		○	○			
	B	中型计算机, 省、市、部级办公、会议中心、博物馆、展览馆、中型银行, 证券中心, 三星级宾馆, 通信基站	○	○ Mm 组合	1	○	○	○	2~3 级	2 级	○	○	○			
	C	地市级办公、会议中心、证券门市部, 电信局, 汽车站, 一般宾馆 (二星以下)	○	○ S—M 组合	1	○	○	○	1~2 级	2 级		○	○			
	D	除上述 A、B、C 级以外的电子信息系统设备	○	○ S 或 M	1	○		○	1~2 级	1 级		○	○			
工控计算机	A	特大型工控计算机系统, 大型电站计算机控制系统	○	○ S 或干线式	4		○	○	2~3 级			○	○			
	B	大型工控计算机系统, 中小型电站计算机控制系统	○	○ S 或干线式	4		○	○	2~3 级			○	○			
	C	中小型工控机系统, 过程控制的信号端口 (出/入)	○	○ S	4		○	○	1~2 级			○	○			
	D	数控机床, 其他工控制设备	○	○ S	10		○	○	1 级			○	○			



## 第6章 接 地

### 1 3~10kV 供电系统的接地

#### 1.1 我国电力系统的中性点

我国电力系统的中性点是指星形连接的变压器或发电机的中性点。中性点常用的接地方式有下列四种：中性点不接地、经消弧线圈接地、经电阻接地和中性点直接接地。其中，中性点经电阻接地，按接地电流大小又分为高阻接地和低阻接地。

中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和经高阻接地方式又称为小电流接地，亦称非有效接地系统，而中性点直接接地和经低阻接地称为大电流接地亦称有效接地系统。

在民用建筑的供电系统中，中性点通常采用不接地方式或经消弧线圈接地方式。近年来，也有少数民用建筑采用低电阻或高电阻接地方式。

#### 1.2 接地方式的选用条件

根据我国电力行业推荐性标准《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》DL/T 620—1997 的规定。

3~10kV 不直接连接发电机的系统和 35kV、66kV 系统，当单相接地故障电容电流不超过下列数值时，应采用不接地方式。

当超过下列数值又需要在接地故障条件下运行时，应采用消弧线圈接地方式（或经电阻接地方式）。

1) 3~10kV 钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统和 35kV、66kV 系统，10A。

2) 3~10kV 非钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统：

①电压为 3kV 和 6kV 时，为 30A。

②电压为 10kV 时，为 20A。

3) 3~10kV 电缆线路构成的系统，30A。

4) 电压为 6~35kV 且主要由电缆线路构成的供电系统，在单相接地故障电容电流超过 30A 时，可采用低电阻接地方式。

5) 6kV 和 10kV 供电系统，当单相接地故障电流小于 10A 时，为防止谐振、间歇性电弧接地过电压等对设备的损害，可采用高电阻接地方式。

供电系统确定中性点接地方式时，应从供电可靠性、内部过电压、对通信线路的干扰、继电保护以及确保人身安全诸方面综合考虑。

#### 1.3 常用接地方式的技术分析与综合评价

在民用建筑中通常将 3~10kV 中压系统称为供电系统，将 1kV 及以下低压系统称为配电系统。

##### 1.3.1 中性点不接地的供电系统

(1) 中性点不接地系统正常运行的情况

民用建筑的供电系统采用最多的是中性点不接地方式。中性点不接地供电系统正常运行时的电路图和相量图如图 12.6-1 所示。

在图 12.6-1 所示电路中，为便于讨论问题，首先假设 A、B、C 三相系统的电压和线路参数都是对称的，把每相导线的对地电容用  $C$  来表示，并忽略导线相间分布电容。由于正常运行时三相电压  $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$  是对称的，所以，三相导线对地电容电流  $I_{C0}$  也是对称的，三相电容电流相量之和为零，这说明没有电容电流经过大地流动。

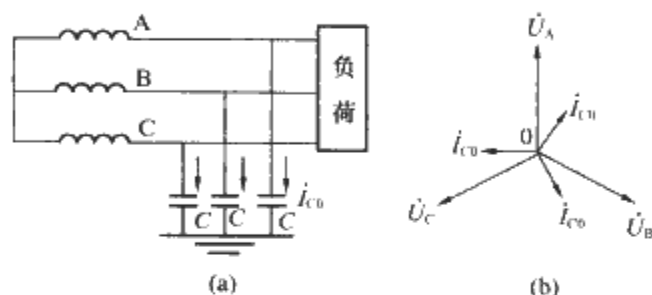


图 12.6-1 中性点不接地系统正常运行时的电路图和相量图

(a) 电路图；(b) 相量图

(2) A 相发生单相金属性接地故障的情况

图 12.6-2 所示为 A 相发生单相金属性接地故障情况，此时 A 相对地电压降为 0，而非故障相 B、C 相对地电压在相位和数值上均发生变化，即

$$\left. \begin{aligned} U'_A &= U_A + (-U_A) = 0 \\ U'_B &= U_B + (-U_A) = U_{BA} \\ U'_C &= U_C + (-U_A) = U_{CA} \end{aligned} \right\} \quad (12.6-1)$$

按上式绘制的相量图如图 12.6-2 (b) 所示。

由图 12.6-2 (b) 相量图可知，当 A 相发生接地故障时，B 相和 C 相对地电压变为  $U'_B$  和  $U'_C$ ， $U'_B$  和  $U'_C$  的相位差为  $60^\circ$ ，其幅值都等于正常运行时的线电压，即升高到相电压的  $\sqrt{3}$  倍。而三相之间的线电压维持不变。这样，线路及各种电气设备的绝缘要按线电压设计，绝缘投资所占比重加大，显而易见，电压等级越高绝缘投资越大。

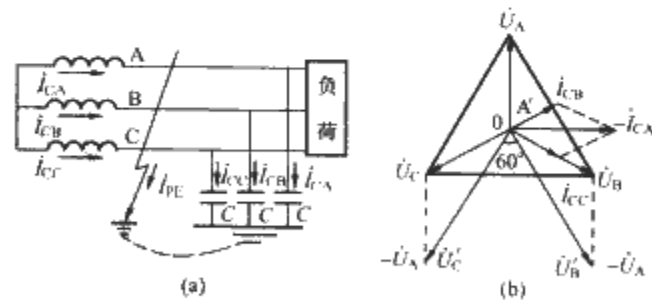


图 12.6-2 中性点不接地系统单相接地故障电路图和相量图

(a) 单相接地故障电路图；(b) 相量图

(3) 不接地系统非金属性接地故障的情况

如果单相接地故障经过一定的接触电阻（亦称过渡电阻）接地，而非金属性接地，那么故障相对地电压将大于 0 而小于相电压，非故障相对地电压将小于线电压大于相电压。

由图 12.6-2 (b) 还可看出，在系统发生单相接地故障时，三相之间的线电压仍然对称，用户的三相用电设备仍能照常运行，系统发生单相接地故障时不必马上切除故障部

分,这样可提高供电可靠性。必须指出,中性点不接地系统发生单相接地故障后,允许继续运行的时间不能超过2h,在此时间内应采取措施尽快查出故障原因,予以排除,否则,就应将故障线路停电检修。

中性点不接地系统发生单相接地故障时,在接地点将流过故障电流(电容电流)。例如:A相发生接地故障,A相对地电容被短接,B、C相对地电压升高到等于线电压,所以对地电容电流变为

$$I'_{CB} = \frac{U'_B}{-jX_C} = \sqrt{3}\omega CU_B e^{j60^\circ} \quad (12.6-2)$$

$$I'_{CC} = \frac{U'_C}{-jX_C} = \sqrt{3}\omega CU_B \quad (12.6-3)$$

接地电流  $I_{PE}$  就是上述电容电流的相量和,即

$$I_{PE} = -(I_{CB} + I_{CC}) = -3\omega CU_B e^{j30^\circ} \quad (12.6-4)$$

其绝对值为  $I_{PE} = 3\omega CU_\varphi = 3I_{C0} \quad (12.6-5)$

$$I_{C0} = \omega CU_\varphi$$

式中,  $I_{PE}$  为单相接地电流, A;  $U_\varphi$  为电力网的相电压, V;  $\omega$  为电源的角频率, rad/s;  $C$  为每相导线的对地电容, F;  $I_{C0}$  为系统正常运行时,每相导线的对地电容电流, A。

由上式(12.6-5)可知,中性点不接地系统发生单相接地故障,电流等于正常运行时每相导线对地电容电流的三倍。由于线路对地电容电流很难准确计算,因此单相接地电流(电容电流)通常可按下述经验公式计算

$$I_{PE} = (L_{oh} + 35L_{cab})U_N/350 \quad (12.6-6)$$

式中,  $U_N$  为供电系统的额定线电压, kV;  $L_{oh}$  为同级供电系统具有与供电直接联系的架空线路总长度, km;  $L_{cab}$  为同级供电系统具有与供电直接联系的电缆线路总长度, km。

应当指出,中性点不接地系统发生单相接地故障时,接地电流在故障处可能产生稳定的或间歇性的电弧。实践证明,如果接地电流大于30A,将形成稳定电弧,成为持续性电弧接地,这将烧毁电气设备和可能引起多相间短路。如果接地电流在5~10A,且小于30A,则有可能形成间歇性电弧,这是由于供电系统中电感和电容形成了谐振回路所致。间歇性电弧容易引起弧光接地过电压,其幅值可达2.5~3倍相电压,将危害整个供电系统安全。如果接地电流在5A以下,当电流经过零值时,电弧就会自然熄灭。

#### (4) 中性点不接地方式的综合评价

综上所述,当发生单相接地故障时,线电压维持不变,故不影响三相用电设备的正常运行。这是该接地方式的优点。

但是,从安全方面考虑,应尽可能缩短带故障运行的时间。目前具有高灵敏度和较高可靠性的单片机选线保护已经完全可以在几秒钟内判断出故障回路。因此,原则上应以切除故障线路,并迅速切换到备用回路为宜。

这种接地方式在发生接地故障时,可能产生异常过电压。发生铁磁谐振过电压时,其值可达到4倍相电压;发生间歇性弧光接地时,有时可达3.5倍相电压。该异常过电压将波及整个供电系统,持续时间较长时,将对系统中的设备绝缘寿命产生不良影响。

#### 1.3.2 中性点经消弧线圈接地的供电系统

如前所述,中性点不接地系统发生单相接地故障时,在短时间内仍可继续供电,这是其优点。若供电线路比较长,接地电流大到使接地电弧不能自行熄灭的程度,产生间歇性电弧而引起弧光接地过电压,甚至发展成多相短路,造成严重事故。为了克服这一缺点,可将供电系统中性点经消弧线圈接地。

#### (1) 中性点经消弧线圈接地的情况

消弧线圈是一个具有气隙的电抗器,安装在变压器或发电机中性点与大地之间,如图12.6-3所示。

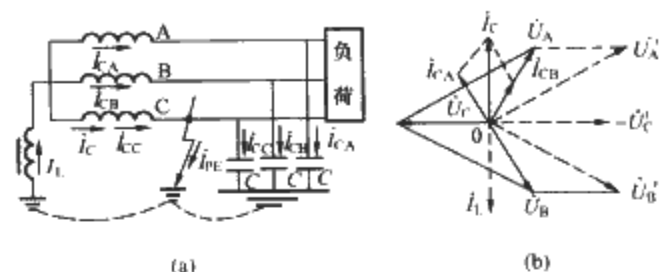


图 12.6-3 中性点经消弧线圈接地系统的单相接地故障电路图和矢量图

(a) 单相接地故障电路图; (b) 矢量图

由于装设了消弧线圈,当发生单相接地故障时,接地故障相与消弧线圈构成了另一个回路,接地故障相接地电流中增加了一个感性电流,它和装设消弧线圈前的容性电流的方向刚好相反,相互补偿,减少了接地故障点的故障电流,使电弧易于自行熄灭,从而避免了由此引起的各种危害,提高了供电可靠性。

从图12.6-3b可以看出,当C相发生接地时,中性点电压  $U_0$  变为  $-U_C$ ,消弧线圈在  $-U_C$  作用下,产生电感电流  $I_L$  (滞后于  $U_0$   $90^\circ$ ),其数值为

$$I_L = U_C/X_L = U_\varphi/X_L \quad (12.6-7)$$

式中,  $U_\varphi$  为供电系统的相电压, kV;  $X_L$  为消弧线圈的电抗,  $\Omega$ 。

供电系统中性点经消弧线圈接地时,有三种补偿方式,即全补偿方式、欠补偿方式和过补偿方式。

1) 全补偿方式。选择消弧线圈的电感时,使  $I_L = I_C$ ,则接地故障电流为零,即为全补偿方式。这种补偿方式并不好,因为当感抗等于容抗时,供电系统将发生谐振,产生危险的高电压或过电流,影响系统安全运行。

2) 欠补偿方式。选择消弧线圈的电感时,使  $I_L < I_C$ ,此时,接地故障点有未被补偿的电流流过。采用欠补偿方式时,当供电系统运行方式改变而切除部分线路时,整个系统对地电容电流减少,有可能发展成为全补偿方式,导致供电系统发生谐振,危及系统安全运行。另外,欠补偿方式容易引起铁磁谐振过电压等其他问题,所以很少被采用。

3) 过补偿方式。选择消弧线圈时,使  $I_L > I_C$ ,此时接地故障点有剩余的电感电流流过。在这种补偿方式下,即使电力网运行方式改变而切除线路时,也不会发展成为全补偿方式。同时,由于消弧线圈有一定的裕度,今后供电系统发展、线路增多、对地电容增加后,原有消弧线圈还可继续使用。因此,实际上大多采用过补偿方式。

#### (2) 消弧线圈容量的估算

选择消弧线圈时,应当考虑供电系统的发展,通常可按下式估算其容量

$$S_{ar} = 1.35 I_C U_N / \sqrt{3} \quad (12.6-8)$$

式中,  $S_{ar}$  为消弧线圈的容量, kVA;  $I_C$  为供电系统的接地电容电流, A;  $U_N$  为供电系统的额定电压, kV。

#### (3) 消弧线圈安装点的选择

中性点采用消弧线圈接地方式,应符合本章1.2条的选取原则,其装设地点尚应符合下列要求:

1) 应保证系统在任何运行方式下,断开一、二回线路时,大部分不致失去补偿。



2) 不宜将多台消弧线圈集中安装在系统中的一处。

3) 消弧线圈宜接于 YNd 或 YNynd 接线的变压器中性点,也可接在 ZNyn 接线的变压器中性点上。接于 YNd 接线的双绕组或 YNynd 接线的三绕组变压器中性点上的消弧线圈容量,不应超过变压器容量的 50%,且不得大于三绕组变压器任一绕组的容量。如果需要将消弧线圈接于 YNyn 接线的变压器中性点,消弧线圈的容量不应超过变压器三相总容量的 20%。但不应将消弧线圈接于零序磁通经铁芯闭合的 YNyn 接线的变压器,如三台单相变压器组成的变压器组。

供电系统除采用固定容量的消弧线圈外,也可采用自动调谐功能的消弧线圈。通过自动调谐电感量,提高了消弧线圈的性能,使残余电流更小,电弧接地过电压更低,还适用于因线路投切使接地电容电流变化大的系统。自动调谐的消弧线圈其适应性很强,可实现供电系统的全补偿、欠补偿或过补偿。但自动调谐的消弧线圈的投资较大,设备较复杂。

(4) 中性点经消弧线圈接地的综合评价

1) 采用消弧线圈接地方式的供电系统运行可靠性最高,这是该接地方式的最大的优点。

2) 对瞬间故障能自动熄弧。

3) 故障点对地电位低。

4) 单相接地的异常过电压可抑制在 2.8 倍相电压以下。

### 1.3.3 中性点经电阻接地的供电系统

中性点经电阻接地主要适用于电力网的配网 3~66kV (供电系统) 中。在配网系统中,当单相接地故障电流符合本章 1.2 条的要求时,可采用经电阻接地方式。由本章 1.2 条可知在某些情况下,既可采用中性点经消弧线圈接地,也可采用经电阻接地。这两种接地方式,各有优缺点,应根据具体情况,通过技术经济比较确定。

(1) 中性点经电阻接地方式

众所周知,当供电系统中性点不接地时,即使单相接地电容电流不大,也会由于对地电弧点燃与熄灭的重复过程,使健全相的电位可能升高到破坏其绝缘水平,甚至形成相间短路故障。如果在中性点串联接入一个电阻器以后,泄放熄弧后半波的能量,则中性点电位降低,故障相的恢复电压上升速度也减慢,从而减小电弧重燃的可能性,抑制供电系统过电压的幅值。这一特点是电阻接地的主要目的。

1) 经高电阻接地系统。高电阻接地系统应符合零序电阻  $R_0 \leq 1/3\omega C_0$  ( $C_0$  为系统每相对地分布电容,  $\mu\text{F}$ ) 准则。与高电阻接地配合的保护方案,通常是检测和报警,采用高电阻接地方式应满足下列要求:

① 限制单相接地电流小于等于 10A。

② 限制暂态过电压在 2.5 倍相电压以下。

③ 不要求立即切除接地故障。

限制单相接地故障电流在 10A 以下,这是使系统接地后还可继续带故障运行的前提。如果电网电容电流大于等于 10A 时,要采用限流措施。

系统中的零序电阻  $R_0$  应包括中性点电阻器电阻  $R_N$  和故障点的接地电阻  $R_d$  在内,而线路本身的阻抗可略去不计。

2) 经低电阻接地。低电阻接地系统应符合零序电阻  $R_0$  与其零序电抗  $X_0$  之比大于等于 2。其中  $X_0$  是系统等值零序电抗。接地故障电流通常采用 100A,而更多的应用电流值为 200~1000A。低电阻接地系统应设置有选择性、立即切除接地故障线路的保护装置。其电阻值选择应为保护装置提供足够大的电流。

由于系统中有足够大的有功电流分量,该保护装置会可

靠动作。限制暂时过电压在 2.5 倍相电压以下是低电阻接地系统的另一重要指标。

采用低电阻接地时,发生接地故障,保护装置应立即作用跳闸,断开故障回路,因此,供电的可靠性降低。所以,可按负荷的重要性采取相应措施,如双电源供电,自动重合闸、备用自投等。

(2) 中性点电阻值的选择

中性点电阻器的电阻值有多种选择方式,譬如,按降低人身触电危险,按对通信线路的干扰要求,按继电保护装置正确动作要求等,因要求各不相同。可能电阻值的计算也不尽相同。目前国内还有一种可选择的方法,这种方法是首先确定接地故障电流,再确定相应的电阻值。究竟采用哪种方法都不能脱离经电阻接地的目的这个重要因素。

其他因素应作为按限制过电压水平选择中性点电阻值的校验条件。

1) 高电阻接地系统。在供电系统中性点接入电阻器,会增加接地电流和漏电电流(相对不接地而言),因为线路对地的总电导率将会增加。众所周知,电压高于 1kV 的系统,当中性点不接地或经消弧线圈接地时所具有的实际参数,对直接接触及线路带电部分的情况下总是有危险的。在系统中性点上接入电阻器后,其危险性更大。在间歇电弧接地条件下高电阻接地系统中,其电阻器形成的电流分量为电容电流的 50%~100%,因此,回路中的有效电压或接触电压和中性点不接地系统相比降低到 1/1.4~1/2.7。同时,在叠加的有功电流为  $0.5I_C$  ( $I_C$  为供电系统的对地电容电流) 及更大时,接触电压的减小值为最大。从安全角度考虑,采用高电阻接地时,使叠加的接地有功电流增加值大于系统的电容电流就不合适了。

图 12.6-4 给出了中性点经电阻接地系统中,过电压的倍数 ( $K$ ) 与有功电流 ( $I_A$ ) 和电容电流 ( $I_C$ ) 的比值关系。

由图 12.6-4 可见,有功接地电流为  $(0.5 \sim 1.0)I_C$  时,相当于中性点经消弧装置接地且运行在谐振状态下的过电压水平。过电压倍数增长较小,有助于减小由单相接地变为相间短路和多处接地的机率,提高了供电系统的可靠性。

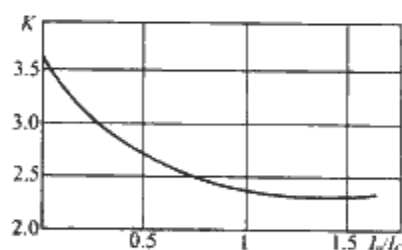


图 12.6-4 电阻接地系统的过电压倍数与  $I_A/I_C$  的关系

综上所述,中性点电阻器的阻值可按式计算

$$R_N = U_X / (0.5 \sim 1.0) I_C \quad (12.6-7)$$

式中,  $R_N$  为中性点电阻,  $\Omega$ ;  $U_X$  为供电系统相电压, V;  $I_C$  为系统单相接地时电容电流, A。

中性点电阻器的功率,可依据接地故障持续时间,按稳态单相接地条件确定。在故障持续时间较长时,其有效功率为

$$P = (U_X^2 / R_N) \times 10^3$$

式中,  $P$  为中性点电阻器功率, kW。

2) 低电阻接地系统。由于低电阻接地系统要求发生接地故障后立即断电,其系统接地电流有功分量 ( $I_A$ ) 与系统电容电流 ( $I_C$ ) 的比值允许更大些,例如 3 倍以上。但是,

计算表明当  $I_0 \geq 3I_C$  时, 从限制过电压效果来看, 已变化不大。因此, 低电阻接地系统的中性点电阻器可按下式计算

$$R_N = U_X / (2 \sim 3) I_C \quad (12.6-8)$$

综上所述, 供电系统采用中性点经电阻接地方式具有下述特点:

1) 可降低工频过电压和抑制弧光过电压。中性点经电阻接地方式可降低单相接地工频过电压, 因为能迅速切除故障线路, 使得工频电压升高持续时间很短。在中性点经消弧线圈接地系统中, 发生单相接地故障时, 弧光点燃和熄灭过程中会产生严重的弧光接地过电压。该过电压影响范围大, 持续时间长, 对电气设备绝缘危害大。采用中性点经电阻接地, 中性点电位衰减很快, 重燃产生的过电压幅值可明显降低, 能有效地抑制弧光接地过电压。

2) 设置零序保护动作跳闸。中性点不接地或经消弧线圈接地的供电系统中, 在发生单相接地故障时, 继电保护装置只发预告音响, 靠试拉断路器确定故障线路, 在发生两条线路同相两处接地时, 极易产生错觉, 使调度和运行人员难以确定故障线路。在中性点经电阻接地系统中, 由于装有零序电流互感器和零序保护, 一旦发生单相接地故障, 保护动作跳闸, 切除故障线路, 然后可凭借安装三相或单相自动重合闸装置提高供电可靠性。

3) 减少对通信干扰 (相对直接接地系统而言)。供电系统发生接地故障电流以及正常运行时的零序电流, 都会对通信线路产生影响, 具体表现为对通信线路的杂音干扰和电磁感应影响, 中性点经电阻接地后, 对通信线路的干扰将减弱。

#### (3) 中性点经电阻接地的综合评价

- 1) 能将单相接地时的异常过电压抑制在运行相电压 2.5 倍以下。
- 2) 继电保护简单。
- 3) 系统运行维护简单。
- 4) 综合投资较高。
- 5) 故障点地电位高, 对人身及设备安全不利。
- 6) 供电可靠性低。

#### 1.3.4 中性点直接接地的电力系统

中性点直接接地方式, 适用于 110kV 及以上的电力网, 不适应于民用建筑范畴的 3~10kV 供电系统。但是民用建筑的低压配电系统中, 通常都采用中性点直接接地方式, 因此, 仍然对中性点直接接地方式进行分析。

##### (1) 中性点直接接地的电力系统

如图 12.6-5 所示。

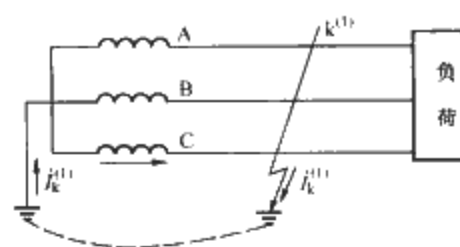


图 12.6-5 中性点直接接地的电力系统

当该系统发生单相接地故障时, 则中性线与接地装置构成单相接地短路回路, 用  $K^{(1)}$  表示。线路上将流过很大的单相短路电流  $I_k^{(1)}$ , 使线路上安装的继电保护装置迅速动作。断路器跳闸将故障部分断开, 从而防止了单相接地故障时产生间歇性电弧过电压的可能。很显然, 中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障时, 是不能继续运行的, 所以其供电可靠性不如电力系统中性点不接地和经消弧线圈接地方式。

中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障时, 中性点的电位为零, 非故障相对地电压基本不变。因此, 电气设备的绝缘水平只需按电力网的相电压考虑, 可以降低工程造价。由于这一优点, 电力系统 110kV 及以上的电力系统, 基本上都采用中性点直接接地方式。

##### (2) 1kV 以下的低压系统

对于 1kV 的低压系统, 供电系统的绝缘水平已不成为主要矛盾, 系统中性点接地与否, 主要从人身安全考虑问题。在 380/220V 系统中, 一般采用中性点直接接地方式, 一旦发生单相接地故障, 可迅速跳开自动开关或烧断熔丝, 将故障部分断开。此时非故障相对地电压基本不会升高。值得指出, 中性点直接接地系统发生单相接地故障时, 单相短路电流在导线周围产生单相交变电磁场, 将对附近的电子信息系统设施产生电磁干扰。但只要采取措施减小单相接地短路电流或采取屏蔽措施, 都可以减小这种干扰。

##### (3) 中性点直接接地系统的综合评价

- 1) 适用于 110kV 以上高压系统和 380V 低压系统。
- 2) 单相接地故障时, 非故障相电压升高最少。
- 3) 变压器可采用分级绝缘, 可节省投资。
- 4) 对通信及电子信息设备干扰最大。
- 5) 单相接地电流最大。

#### 1.3.5 常用中性点接地方式综合比较

综上所述, 各种接地方式都有不同的优、缺点, 技术人员可根据工程的具体情况选择接地方式。下面将不同接地方式的综合比较列于表 12.6-1 供参考。

表 12.6-1 常用中性点接地方式综合比较对照表

比较项目	不 接 地	消弧线圈接地	电阻接地	直接接地
单相接地电流	很小	最小	1~10A (高阻); 100~1000A (低阻)	最大
一相接地时, 非故障相电压升高	最高等于或略大于 $\sqrt{3}U_X$ (相电压)	$\sqrt{3}U_X$ (很少出现)	$(0.8 \sim \sqrt{3}) U_X$	小于 $0.8U_X$
弧光接地过电压	最高可达 $(\sqrt{3} \sim 3.5) U_X$	低、能抑制在 $2.5U_X$ 以下	低、能抑制在 $2.8U_X$ 以下	最低
操作过电压	最高可达 $(4 \sim 4.5) U_X$	一般不大于 4 倍 $U_X$	(暂无数据)	最低
变压器采用分级绝缘可能性	不可	一般不可	一般不可	可以
高压电器绝缘 (如断路器、 互感器、电缆等)	全绝缘	一般全绝缘, 但电缆 允许采用 I 类绝缘	一般全绝缘, 但电缆允许 采用 I 类绝缘	可降低 20%
复杂故障可能性	大	小	较小	最小
对通信的干扰危害	最小~小	最小~小	大 (低阻)、 小 (高阻)	最大

续表

比较项目	不 接 地	消弧线圈接地	电阻接地	直接接地
继电保护	灵敏度不易满足（分立元件）；单片机式可满足要求	采用 LH、ML 系列产品均可满足	灵敏度高，可用简单零序电流保护。推荐单片机系列	灵敏度最高
运行维护	简单	采用自动调谐产品简单；采用非调谐产品、复杂	相对简单	简单
供电可靠性	较高	最高	较高（低阻） 较高（高阻）	不保证
综合技术装备水平	简单	较高	最高（低阻） 较高（高阻）	简单
人身设备安全	好	最好	差（低阻） 较好（高阻）	差
接地装置投资	最小	中等	高（低阻） 中等（高阻）	小
综合费用	最低	中等	高（低阻） 中等（高阻）	低

2 低电配电系统的接地型式

低压配电系统的接地主要有工作接地、保护接地和防雷接地，设置这几种接地的目的是保障人身安全和电气装置安全。工程上通常将低压配电系统的中性点或电气装置外壳接地。电气装置外壳可以直接接地，也可以通过导线连接到配电系统已接地的中性点上。配电系统可以直接接地或不接地，也可以通过阻抗接地。

电气装置和配电系统的这几种接地组合，称为配电系统的接地型式。

型式以拉丁文字作代号，第一个字母表示电源端与地的关系：

T——电源端有一点直接接地。

I——电源端所有带电部分不接地或有一点通过阻抗接地。

第二个字母表示电气装置的外露可导电部分与地的关系：

T——电气装置的外露可导电部分直接接地，此接地点在电气上独立于电源的接地点。

N——电气装置的外露可导电部分与电源端接地点有直接电气连接。

横线后的字母用来表示中性导体与保护导体的组合情况：

S——中性导体和保护导体是分开的。

C——中性导体和保护导体是合一的。

(1) TN 系统

电源端有一点直接接地（通常是中性点），电气装置的外露可导电部分通过保护中性导体或保护导体连接到此接地点。

根据中性导体（N）和保护导体（PE）的组合情况，TN 系统的接地型式有以下三种：

1) TN-S 系统。整个系统的 N 中性导体和 PE 保护导体是分开的，如图 12.6-6 所示。

在 TN-S 系统中，保护导体和中性导体是分开的，由于正常时，PE 线不通过负荷电流，与 PE 相连的电气设备的金属外壳在正常运行时不带电位，所以适用于数据处理和电子信息设备的供电。在民用建筑内部，家用电器都有单独接地触点的插头，采用 TN-S 供电，即方便又安全。所以 TN-

S 系统广泛应用于民用建筑中。但是 TN-S 系统仍不能解决相线对大地短路引起电压升高和对地电压的蔓延问题。

2) TN-C 系统。整个系统的 N 中性导体和 PE 保护导体是合一的，如图 12.6-7 所示。

在 TN-C 系统中，保护线与中性线合并为 PEN 线（又称为保护中性导体），具有简单、经济的优点。当发生接地短路故障时，故障电流大，可采用过电流保护电器切断电源，来保证安全。但在单相负荷或三相不平衡负荷以及有谐波电流负荷的线路中，PEN 导体流有电流，其所产生的压降加在电气设备的金属外壳和线路金属套管上，对敏感性的电子信息设备不利。同时由于 PEN 导体在同一建筑内往往相互电气连接，因此，当 PEN 导体断线或相线直接与大地短路时，都将呈现相当高的对地故障电压，这时可能扩大事故范围。

TN-C 系统由于其安全水平较低，在民用建筑中这种接地型式已经不用，仅在有专业人员维护管理的一般性工业厂房中应用。

3) TN-C-S 系统。系统中一部分线路的 N 中性导体和 PE 保护导体是合一的，如图 12.6-8 所示。

在 TN-C-S 系统中，PEN 导体自 A 点（通常为电缆进户处）起分为保护导体和中性导体，分开后 N 导体应对地绝缘。为防止分开后的 PE 导体和 N 导体混淆，应按国家标准 GB 7947—2006 的规定，给 PE 导体和 PEN 导体涂以黄绿相间的色标，给 N 导体涂以浅蓝色色标。PEN 导体自分开后，PE 与 N 不能再合并，否则将丧失分开后形成的 TN-S 系统的优点。

TN-C-S 是一种广泛应用的接地型式。当变电所在室外为民用建筑供电时，电源配出部分采用 TN-C，进入建筑物内经重复接地改为 TN-S 系统。这种系统线路既简单又能保证一定的安全水平。在电源侧的 PEN 导体上难免有一定电压降，但对于固定设备及民用建筑的用电设备不会有什么影响。

(2) TT 系统

电源端有一点直接接地，电气装置的外露可导电部分直接接地，此接地点在电气上独立于电源端的接地点，如图 12.6-9 所示。

1) TT 系统的直接接地点，一般是配电变压器或发电

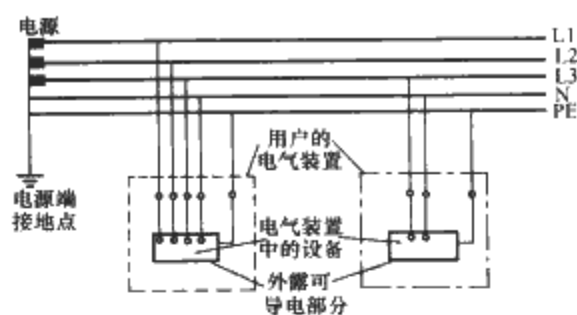


图 12.6-6 TN-S 系统

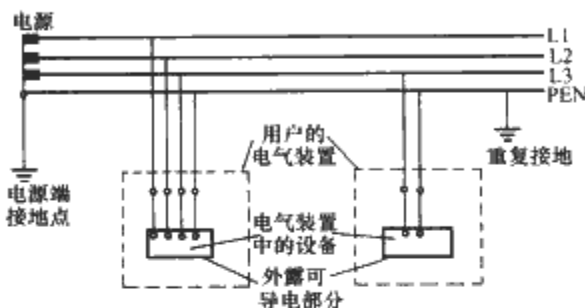


图 12.6-7 TN-C 系统

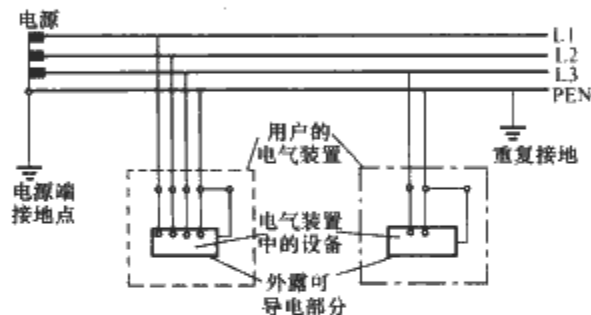


图 12.6-8 TN-C-S 系统

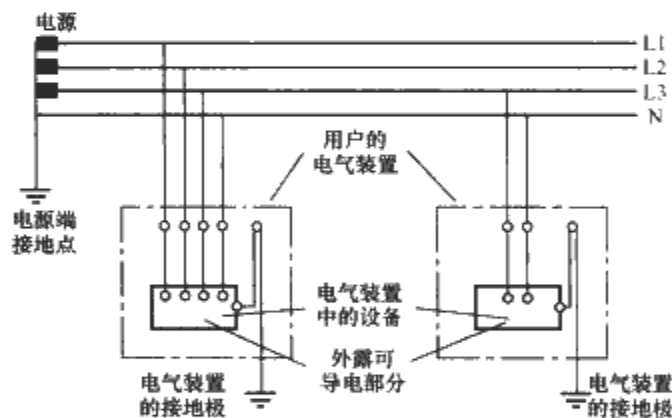


图 12.6-9 TT 系统

机的中性点。电气装置的外露可导电部分也必须接地。

2) 在 TT 系统内，电气装置的金属外壳接地采用单独的接地装置，与电源在接地上无电气联系。当 TT 系统发生单相接地故障时，短路电流由于受到电源侧接地电阻和电气设备侧接地电阻的限制，接地故障电流不大，故可减小接地短路时产生的危险性。但除了小容量的电气装置外，在大多数情况下不足以使一般过电流保护电器切断电源，容易造成电击事故。因此，TT 系统特别适用于负荷容量较小的电气负荷。当电气负荷容量较大时，必须采用剩余电流动作保护器切断故障回路。在 TT 系统中，由于同一保护电器保护的电气装置的所有外露可导电部分用保护导体连在一起，接到其共用的接地体上。当几个保护电器分级保护时，每个保护电器所保护的所有外露导电部分也必须按照这个方法接地。

在钢筋混凝土结构的建筑物中，值得注意的是 TT 系统的直接接地点与电气设备外露可导电部分的接地点是共用接地

装置，很难做到两个接地无电气联系。在这种情况下，TT 系统近似为 TN-S 系统，不适用于要求两个接地装置要求严格分开的场所。

TT 系统除适用于一般民用建筑配电系统外，更适用于一些无等电位联结的户外场所，例如户外照明、户外演出场地和户外集贸市场等场所的电气装置。

### (3) IT 系统

电源端的带电部分不接地或有一点通过阻抗接地，电气装置的外露可导电部分直接接地，如图 12.6-10 所示。

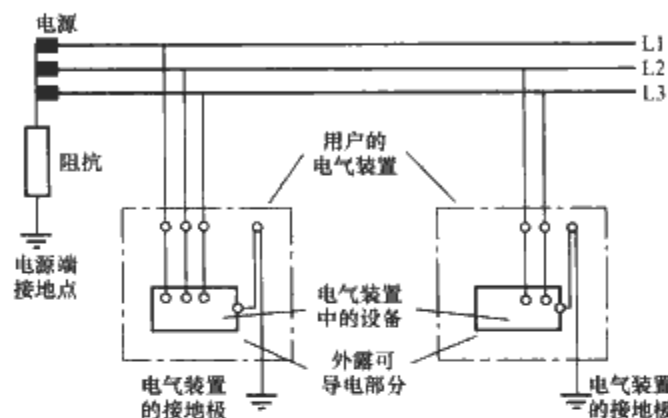


图 12.6-10 IT 系统

在 IT 系统中，当出现单相接地故障时，故障电流受到限制，电气装置的金属外壳上不会产生危险的接触电压，因此可以不切断电源，电气设备尚能继续工作。此时，系统中必须装设能发出声或光信号的绝缘监测装置，且警报装置报警，通过检测线路排出故障，可以减少或消除电气装置的停电时间，所以特别适用于不间断供电要求高和接地故障电压有严格限制的场所，如应急电源装置、医院胸、脑腔手术室等场所。IT 系统如果在消除第一次故障前又发生第二次故障（例如不同相的接地故障），此时应采取自动切断供电的防护措施，其保护条件取决于电气装置的外露可导电部分的接地方式，在外露可导电部分单独地或成组地与电气上独立的接地极连接的情况下，其保护条件可采用 TT 系统保护措施。

IT 系统不宜引出中性线，因为配中性线后，当发生单相接地故障时，IT 系统将根据电气设备外露的接地情况转变成 TN 或 TT 系统，而保护电器是按 IT 系统配置的，不能按 TN 或 TT 系统的要求动作，所以很不安全。

如果 IT 系统引出中性线，中性线上需要装设过电流检测装置，该装置受到激励时，应将包括中性线在内的所有带电导线从电源断开。如果该中性线已受到电源侧保护电器的有效保护，或该回路由剩余电流动作保护装置保护，且其额定剩余电流不超过该中性线载流量的 0.15 倍。该装置动作时，又能将所有带电导体（包括中性线）断开，则可不装设检测装置。

## 3 供、配电系统的接地

在民用建筑中，供电系统的工作接地和电气装置的保护接地是分设、还是合设是大家十分关心的问题。尤其是在我国中压电网允许采用中性点低电阻接地方式以后，这个问题尤其需要正确解决。因为在这种情况下，它直接关系到人身及设备安全，因此，必须认真研究。

### 3.1 我国现行电力行业标准《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997) 规定

1) 向 B 类电气装置（用户管理的建筑物电气装置）供

电的配电变压器不安装在（设有）B 类电气装置的建筑物内，配电变压器高压侧工作于不接地、经消弧线圈接地和高电阻接地系统，若该变压器保护接地装置的接地电阻符合  $50/I$ （ $I$  为接地故障电流）且不大于  $4\Omega$  时，低压系统的工作接地与该变压器的保护接地可共用接地装置。

2) 对于工作在有效接地（直接接地、经低电阻接地）系统中的 A 类电气装置（供电公司管理的发电、变、配电电气装置），则要求配电变压器的工作接地应置于保护接地网以外的适当地方，即不得共用接地装置。

3) 向 B 类电气装置供电的配电变压器安装在有 B 类电气装置的建筑物内时，配电变压器高压侧工作在低电阻接地系统，当该变压器的保护接地装置的接地电阻小于或等于  $2000/I$ ，且建筑物内采用总等电位联结时，低压系统的工作接地可与该变压器的保护接地共用接地装置。

### 3.2 国际电工委员会的建筑物电气装置

《低压电气装置对暂时过电压和高压系统与地之间故障的防护》IEC 60364—4—442 标准（国家标准 GB 16895.11—2001 与其等同）中，规定了工作接地与保护接地合设的前提条件：

1) 变电所内配电变压器高低压侧连接的电缆。

① 高压电缆的金属护套已接地。

② 低压电缆的金属护套已接地。

③ 高、低压电缆的金属护套全接地，并且上述电缆总长度超过 1km。

2) 变电所的外露可导电部分的接地电阻不大于  $1\Omega$ 。

另外，在 IEC 60364—4—442 中，按低压系统接地型式不同作了若干详细的规定，只有满足前提条件和下述各项规定之后，工作接地与保护接地可共用一套接地装置。

(1) TN 系统

该系统如图 12.6-11 所示。当故障电压  $RI_m$  能在表 12.6-2 中给出的时间内被切除，则低压系统的中性导体可与变电所外露可导电部分的保护接地极相连接，如图 12.6-11 (a) 所示。

此时，如果建筑物内电气装置的低压设备的外露可导电部分用保护导体与总等电位联结相连接，则接触电压实际为 0。

如果条件①得不到满足，则低压系统的中性导体应通过一个电气上独立的接地极接地，如图 12.6-11 (b) 所示。在这种情况下，应力电压  $(RI_m+U_0)$  应小于或等于变电所低压设备的绝缘耐压水平，并在相应时间内切除应力电压。

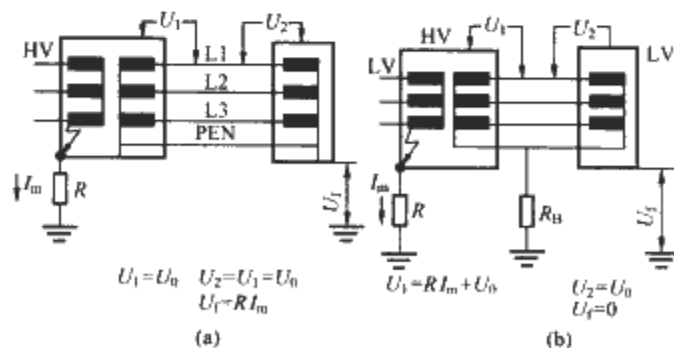


图 12.6-11 TN 系统

由于高压系统的接地故障引起用户电气装置中低压设备上的工频应力电压，它的量值和持续时间不应超过表 12.6-2 的规定。

表 12.6-2 低压电气装置中允许的应力电压与切断时间

低压电气装置中允许的交流应力电压 (V)	切断时间 (s)
$U_0+25$	$>5$
$U_0+1200$	$\leq 5$

注 1. 由于特殊原因（例如相导体接地）低压系统对地的（最高）标称电压不足  $U_0$  时，应力电压应另行规定。

2. 表中第一行与具有较长切除时间的系统有关，例如不接地或高阻抗接地系统；第二行与具有较短切除时间的系统有关，例如直接接地的高压系统。此两行是低压设备考虑暂时过电压因素进行适当绝缘设计的准则（见 GB/T 6935.1 的 1.3.7.1 条规定）。

3. 低压设备通过一个其中性导体与变电所的高压系统的保护接地极相连的 TN 系统，且在总等电位联结影响区域内使用时，则不会出现这些过电压。

(2) TT 系统

1) 当应力电压  $(RI_m+U_0)$  小于或等于用户低压设备绝缘耐压水平，并且在表 12.6-2 中给出的时间内切除应力电压时，则低压系统的中性导体可与变电所外露可导电部分的接地极（保护接地装置）相连接，如图 12.6-12 (a) 所示。

2) 如果条件 1) 得不到满足时，低压系统的中性导体应通过一个电气上独立的接地极接地，如图 12.6-12 (b) 所示。在这种情况下，应力电压  $(RI_m+U_0)$  应小于变电所低压设备的绝缘耐压水平，并在相应时间内切除应力电压，如表 12.6-2 所示。

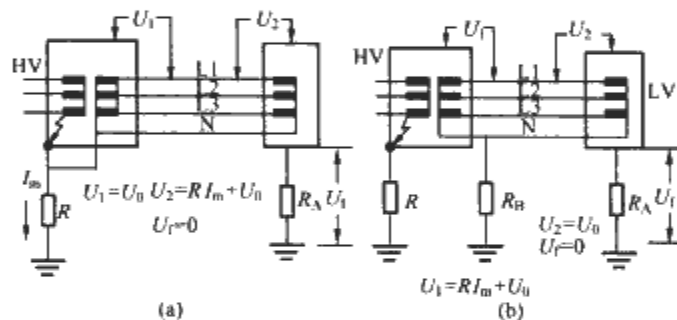


图 12.6-12 TT 系统

(3) IT 系统

1) 如果在故障电压  $(RI_m)$  下，能在图 12.6-13 给出的时间内切断，则用户电气装置中的低压设备的外露可导电部分可与变电所电气设备的外露可导电部分的保护接地极相连接，详见图 12.6-13 和图 12.6-14。

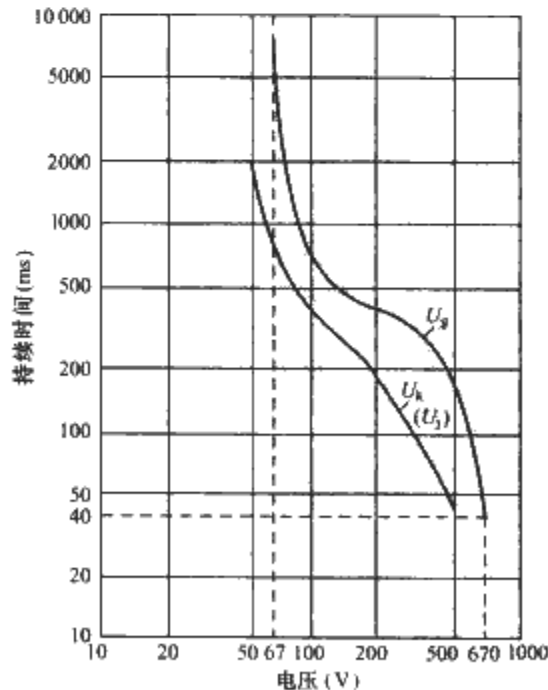


图 12.6-13 因高压系统接地故障引起的故障电压最大持续时间



如果上述条件不能满足,则低压电气装置中的外露可导电部分应与一个电气上独立的接地极相连接,如图 12.6-15

中所示。

2) 当用户电气装置中的低压设备的外露可导电部分通

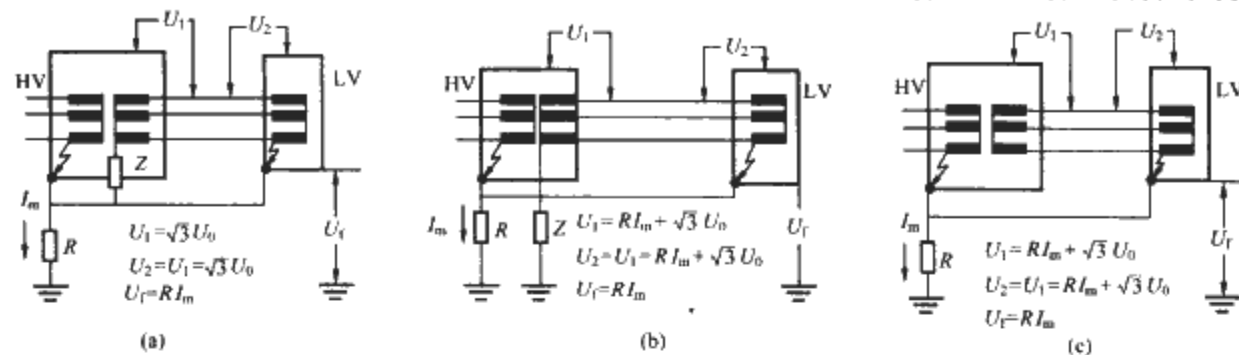


图 12.6-14 IT 系统

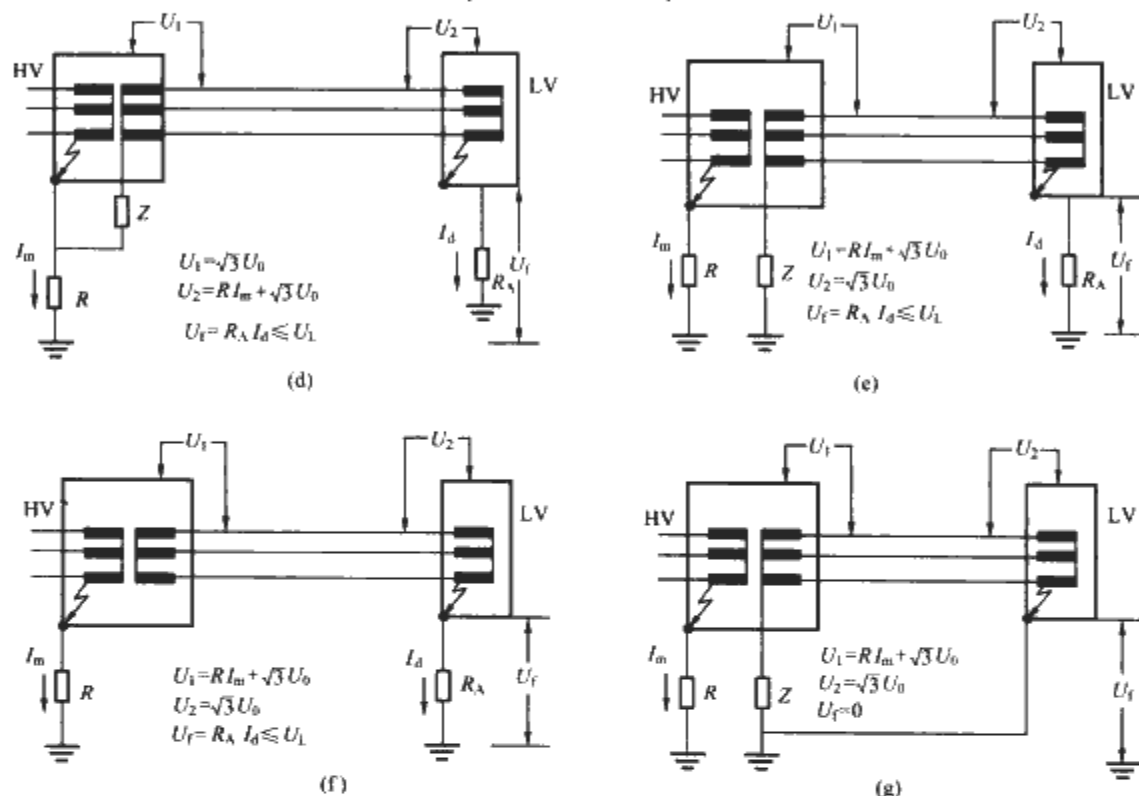


图 12.6-15 IT 系统

过一个电气上独立的接地极接地,且应力电压 ( $R I_m + U_0$ ) 在表 12.6-2 中给出的切断时间条件下小于或等于用户低压设备的绝缘耐压水平时,则低压系统的中性点阻抗(如果存在的话)应与变电所电气设备的外露可导电部分的接地极相连接,如图 12.6-15 (d) 所示。

如果上述条件不能满足,则中性点阻抗应通过一个电气上独立的接地极接地。如图 12.6-15 (d) 和 (e) 所示。在这种情况下,应力电压 ( $R I_m + U_0$ ) 应小于或等于变电所低压设备的绝缘耐压水平,并在相应时间内切除应力电压。

综上所述,在“共地”规定方面,我国目前有两种现行标准可供选择。由于我国的行业标准在制定过程中,在技术方面逐步与国标标准接轨,作为建筑设计应严格执行国家标准。

### 3.3 建筑物中供、配电系统的防雷

防雷应符合本篇第 3、4 章内容。多年来的理论与实践证明,供、配电系统的防雷接地与低压侧中性点接地合一,是更为安全的接地方式。因此,在 B 类设备的变电所中广泛采用。

## 4 变配电装置保护接地的范围

### 4.1 保护接地的作用

保护接地是为了防止设备因绝缘损坏或金属性接地故障

造成不该带电部分带电,从而危及人身安全而设的接地。

保护接地的作用如图 12.6-16 所示。当电气设备单相碰壳时,设备的外壳带电,此时,人体接触到设备的外壳,接地电流将通过人体和配电网与大地之间的对地电容构成回路。

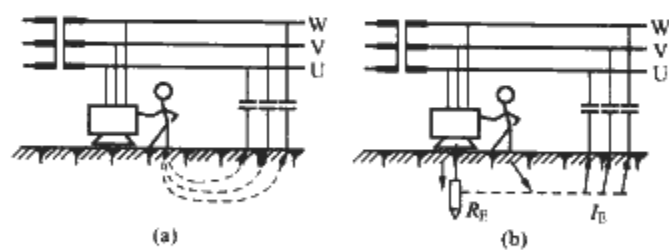


图 12.6-16 保护接地的作用

(a) 无保护接地; (b) 有保护接地

若无保护接地,由于设备底座与大地的接触电阻较大,则有较大的电流从人体流过,如图 12.6-16 (a) 所示。当电气设备采取了保护接地措施,则流过人体的电流只是接地电流的一部分。显然,这是因为人体电阻与接地电阻是并联的,接地电阻越小,流经人体的电流也越小。因此,将接地电阻限制在适当范围内,就能保护人身的安全,如图 12.6-16 (b) 所示。由此可见,保护接地对人身安全的重要性。

### 4.2 保护接地范围

建筑物电气装置和设施的下列金属部分,均应接地:

1) 电动机、变压器和高压电器等的底座和外壳。



- 2) 电气设备传动装置。
- 3) 互感器的二次线圈。
- 4) 发电机外壳、发电机出线柜和封闭母线的外壳等。
- 5) 气体绝缘全封闭组合电气 (GIS) 的接地端子。
- 6) 配电、控制、保护用的屏 (柜、箱) 及操作台等的金属框架。
- 7) 铠装控制电缆的外皮。
- 8) 屋内外配电装置的金属架构, 钢筋混凝土架构以及靠近带电部分的金属围栏和金属门。
- 9) 电力电缆接线盒、终端盒的外壳、电缆的外皮、穿线的钢管、各种金属接线盒和电缆桥架等。
- 10) 装有避雷线的架空杆塔。
- 11) 除沥青地面的居民区外, 其他居民区内, 不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统中无避雷线架空线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔。
- 12) 装在配电线路杆塔上的开关设备、电容器等电气设备。
- 13) 箱式变电站的金属箱体。
- 14) 手持式或移动式电气设备的外壳。
- 15) 敷设的钢索及起重运输设备轨道。
- 16) I 类灯具的金属外壳。

在上述各项中 4)、5)、13) 以及发电机座或外壳; 直接接地的变压器中性点; 变压器、发电机、高压并联电抗器中性点所接消弧线圈、接地电抗器、电阻器或变压器的接地端子; 避雷器、避雷针、避雷线的接地端子应采用专用的接地线接地。

#### 4.3 可不接地的范围

电气设备和设施的下列金属部分可不接地:

- 1) 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电测量仪表、继电器和其他低压电器等的外壳, 以及当发生绝缘损坏时, 在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属底座等。
- 2) 安装在已接地的金属架构上的设备 (应保证电气接触良好)。
- 3) 直流标称电压 220V 及以下的蓄电池室内的支架。
- 4) 在干燥场所, 交流额定电压 50V 及以下, 直流额定电压 110V 及以下的电气设备。

#### 4.4 严禁保护接地的范围

- 1) 采用设置绝缘场所保护方式的所有电气及外界可导电部分。
- 2) 采用不接地的局部等电位联结方式的所有电气设备及其外界可导电部分。
- 3) 采用电气隔离保护方式的电气设备及外界可导电部分。
- 4) 在采用双重绝缘及加强绝缘保护方式中的绝缘外护物里面的可导电部分。

### 5 接地要求及接地电阻的确定

#### 5.1 接地要求

- 1) 电气装置的接地分为功能性接地 (变压器、发电机等的中性点接地) 和保护性接地 (电气装置外露可导电部分的接地), 为保证人身和电气装置的安全, 电气装置宜接地。
- 2) 为了将各种不同用途和不同电压的电气装置接地, 应采用一组共用的接地装置, 接地装置的接地电阻应满足其

中接地电阻最小的要求。

当接地装置为电气装置接地、电子信息系统接地和防雷接地共用, 且不能确定接地电阻最小值时, 宜按小于等于  $1\Omega$  设计。

3) 电压为 1kV 以下的交直流电气装置, 中性点可直接接地或不接地。

当安全条件要求较高时, 供配电系统宜采用中性点不接地方式。

4) 在中性点直接接地的低压系统中, 变压器外壳应作保护接地。为避免人身伤害, 除采用剩余电流动作保护器之外, 尚应采取等电位联结措施。

#### 5.2 接地电阻值的确定

我国现行的标准、规范中涉及接地电阻的规定有两部, 一部为电力行业标准《交流电气装置的接地》(DL/T 621—1997), 另一部为《低压电气装置对暂时过电压和高压系统与地之间的故障的防护》(GB 6895.11—2001) (等同于 IEC 60364—4—442)。前者的规定是根据原苏联标准电气设计导则制定并沿用至今, 后者是 IEC 标准并转化为国家标准。两者的规定不尽相同, 差异较大, 在应用中可根据实际情况合理采用。

(1) 供电公司管理的发电厂、配变电所电气装置保护接地的接地电阻 (A 类电气装置的接地电阻)

1) 大电流接地系统的接地电阻

$$R \leq 2000/I \quad (12.6-9)$$

式中,  $R$  为考虑到季节变化的最大接地电阻,  $\Omega$ ;  $I$  为计算用的流经接地装置的入地短路电流, A。

根据 DL/T 621—1997 的规定, 对于直接接地, 经小电阻接地这样的大电流接地系统发生接地故障时, 地网电位的升高应控制在不超过 2000V。随着电力网容量的不断加大, 单相接地故障电流一般超过 4000A, 当  $I > 4000A$  时, 接地电阻  $R \leq 0.5\Omega$ 。在高土壤电阻率地区, 接地电阻如按规定值要求, 在技术经济上极不合理时, 可通过技术经济比较增大接地电阻, 但不得大于  $5\Omega$ , 且应校验接触电压和跨步电压是否在允许的安全值以内。由于大电流接地系统的接地故障电流很大, 系统的继电保护应迅速切断电源, 实际上接地装置上只在很短的时间内出现电压。

对于民用建筑低压侧中性点直接接地的系统, 即使发生单相接地故障, 其短路电流也不很大。因为钢筋混凝土结构的建筑的共用接地电阻多为小于或等于  $1\Omega$ , 即使发生单相接地故障, 地网电压也不超过 220V, 故接地电流不会超过 220A。

2) 小电流接地系统的接地电阻

$$R \leq 120/I \quad (12.6-10)$$

这个公式适用于中性点不接地、经消弧线圈接地和高电阻接地系统高压与低压电气装置共用接地装置的情况, 考虑到人与低压电气装置接触的机会更多, 规定接地电压不得超过 120V, 接地电阻应不大于  $4\Omega$ 。

在小电流接地系统中, 接地故障电流  $I$  较小, 继电保护常作用于信号而不切除故障部分, 接地装置处于高电位状态的时间很长, 因为, 应限制接地电压。

当接地装置仅用于高压设备时, 规定接地电压不得超过 250V, 即

$$R \leq 250/I \quad (12.6-11)$$

上式适用于 60kV 及以下的系统, 故涵盖了民用 3~10kV 供电系统, 其接地电阻不宜大于  $10\Omega$ 。

(2) 用户管理的电气装置保护接地的接地电阻 (B类电气装置)

1) 当配电变压器位于所供电建筑物外, 且建筑物电气装置未作总等电位联结时, 如果变电所保护接地与低压系统中性点接地相连接, 则接地电阻应按式计算

$$R \leq 1200/I_E \quad (12.6-12)$$

式中,  $I_E$  为流经接地装置的人地短路电流, A。

上式适用于大电流接地的情况, 对于配电变压器高压侧中性点经低电阻接地的系统 (接地故障切断电源时间  $\leq 5s$ ), 其接地故障电流为  $100 \sim 1000A$ 。

当接地电流不大于  $600A$  时,  $R$  一般可取小于或等于  $2\Omega$ ;

当接地电流在  $600 \sim 1000A$  时,  $R$  一般可取小于或等于  $1\Omega$ 。

2) 变电所保护接地与低压系统中性点接地共用接地装置时, 变电所保护接地装置的接地电阻应符合下列要求:

① 配电变压器设于由其供电的建筑物外, 且所供电建筑物内未作总等电位联结时, 对于 TN 系统, 其接地电阻按下式计算

$$R \leq 50/I_E \quad (12.6-13)$$

在这种情况下, 配电变压器低压侧发生单相接地故障, 接地电压不应超过  $50V$  以保证人身安全。通常接地电阻  $R$  取值  $1 \sim 2\Omega$ 。

② 配电变压器设于由其供电的建筑物内, 且已作总等电位联结时:

a. 低压侧应采用 TN-S 系统。此时不存在电击和绝缘击穿危险, 其接地电阻应为建筑物共用接地的接地电阻。

b. 当低压侧为中性点不接地的 IT 系统, 但低压用电设备外露导电部分与变电所保护接地相连接时, 接地电阻应按下式计算

$$R \leq 250/I_E \quad (12.6-14)$$

在这种情况下, 当高压侧发生接地故障时, 其接地故障切断电源时间应大于  $5s$ , 且在低压系统绝缘上产生的工频应力电压 ( $I_E R + U_{ph}$ ) 应在设备绝缘水平允许的短时间内切断电源。

3) 变电所保护接地不与低压系统中性点接地共用接地装置时, 变电所保护接地装置的接地电阻应按式 (12.6-14) 计算。

当配电变压器的高压侧不接地或经消弧线圈接地的系统, 其接地故障切断电源时间应大于  $5s$ , 且低压系统绝缘上产生的工频应力电压 ( $I_E R + U_{ph}$ ) 应在设备绝缘水平允许的短时间内切断。

我国涉及接地电阻值规定的两部标准同时并行。而民用建筑中经常同时存在 A 类和 B 类电气装置 (诸如供电公司管理的变电所与用户管理的变电所同在一座建筑物内), 且均采用建筑物基础钢筋做接地装置, 此时应按两部标准规定计算的最小值确定接地电阻。

## 6 接地装置

### 6.1 自然接地极的利用

在接地工程中, 充分利用直接埋入地中或水中的自然接地极, 如混凝土结构中的钢筋、金属构筑物、金属管道 (可燃液体或气体、供暖管道除外)、深井金属管壁、电缆金属外皮等自然接地体, 是减小接地电阻, 节约钢材以及达到均衡接地电位的有效措施。为了正确地利用自然接地体, 对其特点和作用应有充分的了解。

1) 利用埋入地下或水中混凝土的钢筋骨架或金属结构物接地, 主要是起减小接地电阻的作用。利用地上或水上混凝土或金属结构物接地, 主要是起引流、分流、均压以及代替专门敷设的接地连接体的作用。

2) 潮湿和干燥状态的混凝土, 其电阻率的差别极大, 两者之比可达  $1:100$  以上。受水或潮湿土壤浸渍的混凝土, 由于毛细管作用吸收水分, 水下建筑物混凝土的水渗透深度通常在  $0.1 \sim 1.0m$  范围内。因此, 一般建筑物混凝土保护的钢筋都可以起到散流作用, 其电阻率十分接近于水或土壤电阻率。表 12.6-3 列出几种常用在潮湿状态下的混凝土电阻率。

表 12.6-3 混凝土电阻率

种 类	配合比及其他	电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )
普通混凝土		90~110
轻质混凝土		150~180
含磁铁矿灰浆	容积比: 水泥 1.6, 水 3.5, 磁铁矿砂 4.9	30~40
标准混凝土		50~80
加水量 ( $140L/m^3$ ) 的混凝土	在水中 200 天后 在空气 200 天后	50~70 230~470

3) 试验证明, 用  $0.9mm$  直径的铁丝绑扎的钢筋接头, 对引泄雷电流的效果没有影响, 当雷电流通过时, 还有可能在钢筋接头的绑扎处引起点焊现象。对于工频电流, 经过实际测量利用一般绑扎连接的钢筋基础作为接地体, 也能达到较好的效果。对于 8 层以下的钢筋混凝土结构的建筑可绑扎、可焊接, 对于 8 层及以上的钢筋混凝土结构的建筑应利用卡夹器连接或绑扎, 不可采用焊接, 因焊接有退火作用而降低钢筋强度, 故结构规范中予以限制。

4) 钢筋流过太电流因发热而温度升高, 能使水泥和钢筋的结合力显著下降。钢筋温度达到  $400^\circ C$  时, 结合力将全部破坏, 并使混凝土保护层产生横向和纵向裂纹。因此, 钢筋的温度不应大于  $100^\circ C$ 。

雷电流流过钢筋时, 温度每增加  $10^\circ C$ , 预应力会降低  $24.5MPa$  左右, 但钢筋冷却后, 预应力随即恢复, 通常预应力钢筋不允许焊接, 只能用铁丝绑扎连接, 故接触电阻增大。因此, 在利用预应力钢筋混凝土构件接地时, 应注意将钢筋接头绑扎牢靠, 尽量消除接触电阻。

5) 钢筋混凝土结构有伸缩缝或沉降缝时, 为了将两处的切断钢筋连成通路, 应用  $40mm \times 4mm$  的扁钢弯成 U 形与两处钢筋连接, 并涂以沥青防锈。

6) 在自然接地体的范围内, 一般不宜敷设以减小接地电阻为目的的人工接地体, 应将人工接地体放在自然接地体的范围之外, 或沿四周敷设, 用以增加整个接地面积。

当利用自然接地体不能满足要求时, 应补设人工接地极。自然接地极应满足热稳定要求。

当利用自然接地极和外引接地极时, 应采用不少于两根导体在不同地点与接地网相连接。

### 6.2 人工接地装置

当采用自然接地体不能满足设计要求时, 则应采用人工接地体。人工接地体通常采用水平敷设的圆钢、扁钢, 垂直敷设的角钢、圆钢、钢管。对钢铁产生严重腐蚀的地方可采用铜、铜包钢或镀铜钢接地体。

(1) 接地装置导体的最小尺寸

人工接地极材料的选择应在满足工程需要的前提下,尽量遵循降低用料的原则,其最小尺寸应考虑材料的耐防腐性能和机械强度。《接地配置、保护导体和联结导体》(GB 16895.3—2004)(等同于 IEC 60364—5—54)规定的最小尺寸,见表 12.6-4。

表 12.6-4 埋地接地极的最小尺寸

材料及形状	最小尺寸			
	直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	厚度 (mm)	镀锌厚度 (μm)
热镀锌扁钢		90	3	63
热镀锌角钢		90	3	63
热镀锌深埋圆钢	16			63
热镀锌钢管	25		2	47
带状裸铜		50	2	
裸铜管	20		2	

注 上述钢材考虑了防腐性能和机械强度要求,也可用在混凝土中。

## (2) 接地导体的最小截面积

埋地敷设的接地导体,其截面积应符合表 12.6-5 的规定。

表 12.6-5 埋地接地导体的最小截面积

保护状况	有防机械损伤保护	无防机械损伤保护
有耐腐蚀保护	铜: 10mm <sup>2</sup> ; 钢: 2.5mm <sup>2</sup>	铜: 16mm <sup>2</sup> ; 钢: 16mm <sup>2</sup>
无耐腐蚀保护	铜: 50mm <sup>2</sup> ; 钢: 25mm <sup>2</sup>	

接地导体与接地极的连接应牢固可靠,且有良好的导电性能,其连接应采用热焊、压接器、夹具或其他机械连接器。

## 7 变电所接地

变电所接地的的好坏直接关系到人身和设备的安全,因此,应予以重视。变电所的接地装置(网)不仅要满足工频短路电流的要求,还要满足雷电冲击电流的要求。因为智能建筑的出现,电子信息系统得到大量应用,这些系统对工频短路电流和雷电冲击电流的敏感性很高,极易受感应电压的损伤。地电位对电子信息的干扰也应引起设计人员的重视,因此,对接地网的要求更高。

### 7.1 变电所的接地网设计应着重解决的问题

#### (1) 接地网接地电阻的确定

因为它直接关系到接地故障电流和雷电流入大地时地电位的升高,应根据供配电系统接地方式和型式,合理确定接地电阻,避免地电位升高对设备造成反击。

#### (2) 接地网均压问题

如果接地网不能很好地均压,在配电系统中设备之间存在电位差,当出现工频对地短路故障和雷电冲击电流时,电位差就会增加,容易引起对控制设备和电子信息系统的反击。因此应做好等电位联结,防止反击事故。

#### (3) 接地线的热稳定问题

如果接地导体的热稳定达不到要求,在接地短路电流流过时,就会将接地体烧断,造成设备外壳带电发生电击事故。

#### (4) 接地装置的腐蚀问题

由于接地装置在地下运行,故运行条件恶劣,特别是在一些潮湿和有害气体存在的地方或土壤呈酸性的地方最易发生腐蚀。受到腐蚀的接地网电气参数将发生变化,甚至会造成电气设备的接地与地网之间,地网各部分之间形成电气上的开路,危及人身安全和设备安全。因此,在含酸碱高的地区内敷设的接地导体和接地极应适当加大材料规格或选择铜包钢等耐腐蚀材料,使之与建筑物的设计使用年限相适应。

### 7.2 变电所的接地装置

确定变电所接地装置型式和布置时,需考虑保护接地的要求,应尽量降低接触电位差和跨步电位差,并应符合下列要求。

#### (1) 变电所接地装置的均压

1) 6~10kV 经低电阻接地系统,发生单相接地或异点两相接地时,变电所接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列数值

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_t}{\sqrt{t}} \quad (12.6-15)$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_t}{\sqrt{t}} \quad (12.6-16)$$

式中,  $U_t$  为接触电位差, V;  $U_s$  为跨步电位差, V;  $\rho_t$  为人脚站立处地表面的土壤电阻率,  $\Omega \cdot m$ ;  $t$  为接地短路(故障)电流时间(通常小于 5s), s。

2) 3~10kV 不接地,经消弧线圈接地和高电阻接地系统,发生单相接地故障后,不迅速切除故障时,变电所接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列数值

$$U_t = 50 + 0.05\rho_t \quad (12.6-17)$$

$$U_s = 50 + 0.2\rho_t \quad (12.6-18)$$

3) 当上述接触电位差可能沿 PE 线传至用电设备外露可导电部分时,  $U_t$  应小于或等于 50V。

4) 当接地装置最大接触电位差和最大跨步电位差较大时,可考虑敷设高电阻路面结构层或埋深接地装置,以降低人体接触电位差和跨步电位差。

#### (2) 变电所接地装置(网)形式要求

1) 变电所的接地装置,除利用自然接地极外,还应敷设以水平接地极为主的人工接地网。对于 3~10kV 变电所、配电所,当采用建筑物的基础作接地极且接地电阻又满足规定值时,可不另设人工接地装置。

2) 当采用人工接地网时,网的外缘应闭合,外缘各角应做成圆弧形,圆弧的半径不宜小于均压带间距的一半。接地网内应敷设水平均压带,且埋设深度不宜小于 0.6m,北方地区应埋设在冻土层以下。

接地网可采用长孔网或方孔网,如图 12.6-17 所示。二者相比,方孔网的均压,特别是在冲击电流作用下均压效果要好得多。

接地网的均压带可采用等距或不等距布置。

(3) 变电所接地故障时接地装置的电位、接触电位差和跨步电位差的计算

1) 计算流经接地装置的短路电流。接地网地面的跨步电势  $E_s$ ,设备外壳的接触电势  $E_t$  和接地网的局部电位升高,均与流经接地装置的接地短路电流有关,因此,首先要对接地短路电流进行计算。

① 变电所内发生接地短路时,短路电流按下式计算

$$I_E = (I_{E_{max}} - I_{E1})(1 - K_{e1}) \quad (12.6-19)$$

② 变电所外发生接地短路时,短路电流按下式计算

$$I_E = I_{E1}(1 - K_{e2}) \quad (12.6-20)$$

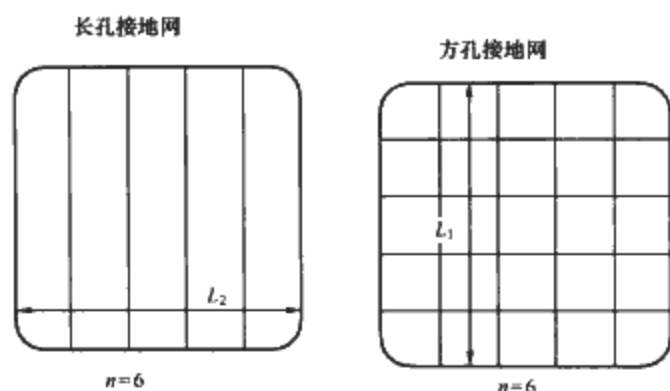


图 12.6-17 接地网的形状

$n$ —均压带计算根数;  $L_1$ 、 $L_2$ —接地网的长度、宽度

式中,  $I_E$  为入地短路电流, A;  $I_{E\max}$  为接地短路时的最大接地短路电流, A;  $I_{E1}$  为发生最大接地短路电流时, 流经变电所接地中性点的最大接地短路电流, A;  $K_{e1}$ 、 $K_{e2}$  分别为所内和所外短路时, 避雷线的工频分流系数。估算时  $K_{e1}$  可取 0.5,  $K_{e2}$  可取 0.1。

计算用流经接地装置的短路电流取两式中较大的  $I_E$  值。

2) 接地装置的电位。发生接地故障时, 接地装置的电位按下式计算

$$U_g = I_E R \quad (12.6-21)$$

式中,  $U_g$  为接地装置的电位, V;  $I_E$  为计算用流经接地装置的短路电流, A;  $R$  为接地装置包括人工接地网及与其连接的所有其他自然接地极的接地电阻,  $\Omega$ 。

3) 跨步电位差和接触电位差的计算。当接地短路电流经接地装置流向大地时, 由于不同形状和不同埋深的接地极会有不同形状的地表电位分布, 因此最大跨步电势  $E_K$  和最大接触电势  $E_j$  出现的位置将和电极的形式、尺寸及埋深有关, 当接地极上层土壤厚度足够大时, 电极附近的电流密度将主要由电极的形状、尺寸和埋深决定, 基本不受下层土壤的影响。

①最大接触电位差的计算。均压带等间距布置时接地网地表面的最大接触电位差可按下式计算

$$U_{\max} = K_{\max} U_g \quad (12.6-22)$$

式中,  $U_{\max}$  为最大接触电位差, V;  $K_{\max}$  为最大接触电位差系数;  $U_g$  为接地装置的电位, V。

当接地极的埋设深度  $h=0.6\sim0.8\text{m}$  时,  $K_{\max}$  可按下式计算

$$K_{\max} = K_d K_L K_n K_S \quad (12.6-23)$$

式中,  $K_d$ 、 $K_L$ 、 $K_n$  和  $K_S$  为系数, 对  $30\times30\text{ (m}^2\text{)} \leq S \leq 500\times500\text{ (m}^2\text{)}$  的接地网, 可按下式计算

$$K_d = 0.841 - 0.225 \lg d$$

$$K_L = 0.1 \quad (\text{方孔接地网})$$

$$K_L = 1.1 \sqrt[4]{L_2/L_1} \quad (\text{长孔接地网}) \quad (12.6-24)$$

$$K_n = 0.076 + 0.776/n$$

$$K_S = 0.23 + 0.414 \lg \sqrt{S}$$

式中,  $n$  为均压带根数, 根;  $d$  为均压带等效直径, m;  $L_1$ 、 $L_2$  为接地网的长度和宽度, m;  $S$  为接地网的面积,  $\text{m}^2$ 。

②最大跨步电位差的计算。接地网外的地表面最大跨步电位差可按下式计算

$$U_{\text{stepmax}} = K_{\text{stepmax}} U_g \quad (12.6-25)$$

式中,  $U_{\text{stepmax}}$  为最大跨步电位差, V;  $K_{\text{stepmax}}$  为最大跨步电位差系数;  $U_g$  为接地装置的电位, V。

正方形接地网的最大跨步电位差系数可按下式计算

$$K_{\text{stepmax}} = \left[ (1.5 - \alpha_2) \ln \frac{h^2 + (h + T/2)^2}{h^2 + (h - T/2)^2} \right] / \ln \frac{20.4S}{dh} \quad (12.6-26)$$

$$\alpha_2 = 0.35 \left( \frac{n-2}{n} \right)^{1.14} \left( \frac{\sqrt{A}}{30} \right)^{\beta}$$

$$\beta = 0.1 \sqrt{n}$$

式中,  $A$  为接地网面积,  $\text{m}^2$ ; 而  $T$  为 0.8m, 即跨步距离。

对于矩形接地网,  $n$  值按下式计算

$$n = z \left( \frac{L}{L_0} \right) \left( \frac{L_0}{4\sqrt{A}} \right)^{1/2} \quad (12.6-26)$$

式中,  $L_0$  为接地网的外缘边线总长度, m;  $L$  为水平接地极的总长度, m。

根据上述计算, 值得说明的是:

1) 当人站在网孔中心附近的地面电位的最低点, 用手去接触接地的金属导体时, 人的手和脚间将有最大的电位差, 这一电位差叫做网孔电势。接地网的最大网孔电势即是最大接触电势。方孔地网的最大接触电势总是出现在地网的边角网孔处; 长孔地网的最大接触电势则发生在相当于方格网孔边的地方。

2) 在式 (12.6-23) 中,  $K_n$  为地网单方向的平行均压带根数  $n$  的影响系数,  $K_d$  为水平接地体导体直径  $d$  的影响系数,  $K_S$  为地网面积  $A$  的影响系数。

在工程中常用的地网埋深为 0.6~0.8m, 埋深的变化对接触电势的影响很小, 地网的接触电位差系数将随均压带根数  $n$  的增大而减小。在同一  $n$  下, 接触电位差系数将随  $d$  的减小而增大, 随面积  $A$  的减小而减小。

3) 如果地网总的均压带根数  $n$  (纵横两个方向之和) 相等, 当  $n$  小于 16 根时, 长孔的  $K_n$  比方孔的  $K_n$  小, 当  $n$  大于 16 根时, 长孔的  $K_n$  比方孔的  $K_n$  大, 这是因为  $n$  较大时, 在由纵方向平行均压带组成的长孔地网中, 沿着纵方向的电位差很小, 接触电势的主要分量是横方向的电位差。在这种情况下再增加纵方向的平行均压带效果已不大, 如果能加上横向的平行均压带以减小横方向的电位差就可使  $K_n$  值下降。由此可见, 当总的均压带根数小于等于 16 根时, 宜采用长孔地网; 大于 16 根时, 宜采用方孔地网。

随着均压带总根数的增大,  $K_n$  的下降将越来越慢, 因此, 不宜采用增加均压带根数的方法来降低最大接触电势。均压带间距在小的接地网中可取 3~5m, 在大型地网中可取 10m。

## 第 7 章 等 电 位 联 结

### 1 等电位联结的作用

为防止人体同时接触不同电位引起的电击危险，同时也为了防范雷电危害或电力网故障产生的过电压对电气装置产生反击，建筑物的电气装置应作等电位联结。

作等电位联结的目的：

- 1) 降低建筑物内间接接触电压，使人体同时接触不同导电部分之间的电位差尽量小。
- 2) 减小建筑物内不同金属物体间的电位差避免电击事故。
- 3) 避免自建筑物外经电气线路和金属管道引入的故障电压和雷电过电压的危害。
- 4) 减少保护电器动作不可靠带来的危险和有利于避免外界电磁场引起的干扰、改善电气装置的电磁兼容性。

综合所述，可看出建筑物内作等电位联结是保证人身和设备安全的一项根本措施。

### 2 总等电位联结

总等电位联结是将建筑物电气装置外露可导电部分与装

置外界可导电部分相连接，使他们的电位基本相等。在作总等电位联结时，应在建筑物的电源处将下列导电部分互相连通。

- 1) 电源进线配电箱的 PE (PEN) 线排或 PE (PEN) 干线。
- 2) 金属管道如给排水、热力、煤气等干管。
- 3) 建筑物的金属结构（包括混凝土结构中的钢筋）。
- 4) 建筑物的接地装置。

建筑物每一电源进线均应作总等电位联结。对大型民用建筑可能有几处电尖接线，应在每一电源进户处（宜在建筑物内侧）设置总等电位端子箱，这些端子箱内的接地母排之间应采用连接导体连接在一起。

建筑物内做了总等电位联结后，其电气装置的 PE 线和外露可导电部分、电气装置外界可导电部分和接地系统都互相连通，从而在建筑物内形成一电位相等或接近的区域。这样当任一金属管线或电气线路因故导入高电位时整个建筑物将同时升高至同一电位，在其内将不出现电位差，从而避免许多电气危险，如图 12.7-1 所示。

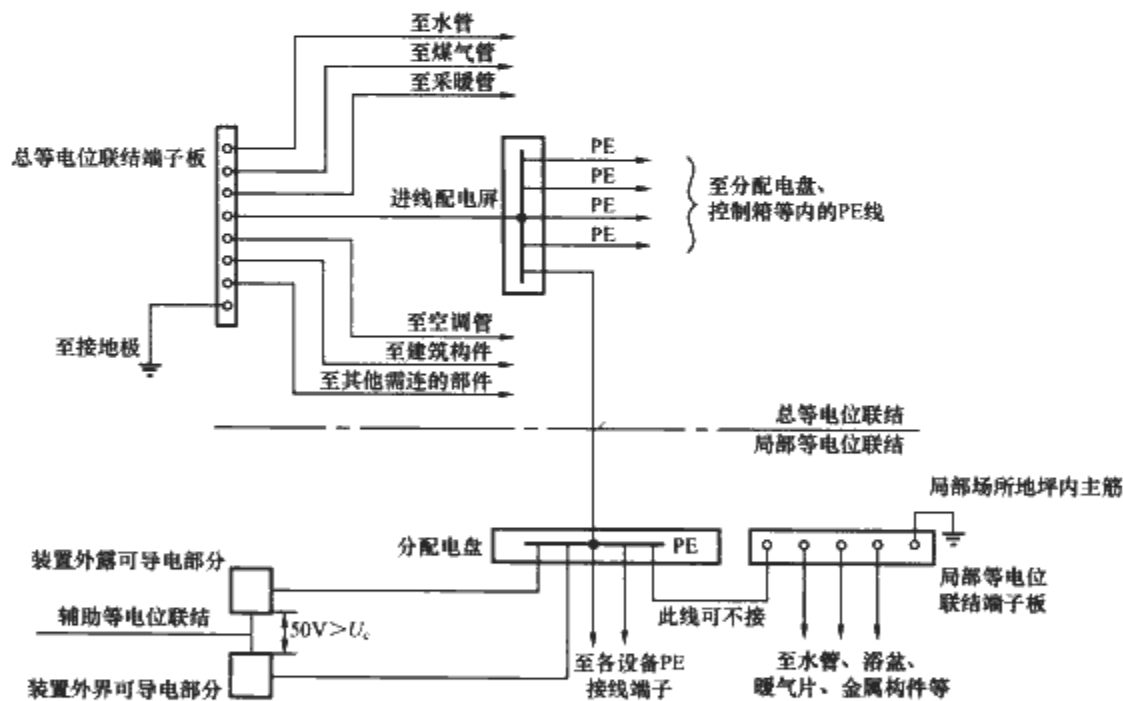


图 12.7-1 等电位联结示意图

### 3 辅助等电位联结

在有总等电位联结的建筑物内，当配电回路线路很长，所设置的过电流保护电器不能满足自动切断电源防电击的时间要求时，通常将电气装置外露可导电部分和（或）外界可导电部分之间用连接导体直接连通，使其电位相等或接近，这种连接称为辅助等电位联结。

辅助等电位联结是作为接地故障保护的附加措施。当配电系统末端回路用电设备发生接地故障时，配电箱很远，接地故障回路阻抗很大，末端配电箱上的过电流保护电器（如断路器、熔断器）不能在规定的时间内切断电源，这时人体若同时触及设备和其他导电部分就可能遭受电击。为了消除

这种危险可采用下列保护措施：

- 1) 采用剩余电流动作保护器迅速切断电源。
- 2) 也可将所有能同时触及的固定式设备外露可导电部分以及外界可导电部分作辅助等电位联结。使可导电部分间的电位同时升高至同一电位水平上。由于不存在电位差，即使切断电源时间超过规定值，也不能发生电击事故。

当采用辅助等电位联结作为故障保护的附加措施时，如果怀疑其有效性，应确认同时可触及的外露可导电部分与外界可导电部分之间的电阻满足以下条件

$$R \leq 50/I_a$$

式中， $I_a$  为保护电器的动作电流，A；对于剩余电流动作保护器应采用  $I_{\Delta n}$ 。



对于过电流保护器应采用小于等于 5s 的动作电流。

4 局部等电位联结

在一局部场所范围设一接地端子板，将各可导电部分相互联通，称为局部等电位联结。

局部等电位联结的作用是将局部场所内一设备故障时的接触电压限制到允许值以下。它还可消除沿 PE 线或金属管道传导来的故障电压引起的危险电位差。

下列情况需作局部等电位联结：

- 1) 当配电系统阻抗过大，使自动切断电源的时间过长，不能满足防电击要求时。
- 2) 由 TN 系统同一配电箱供电给固定式和手持式、移动式两种电气设备，而固定式设备的保护电器切断电源的时间不能满足手持式、移动式设备防电击要求时。

根据《低压系统接地故障自动切断电源保护》IEC 60364—4—41（2005）规定，给固定式用电设备供电的末端回路发生故障时，TN 系统应在小于或等于 5s 内切断电源，TT 系统在小于或等于 1s 内切断电源。而供电给手持式或移动式设备的末端回路规定的最长切断电源时间见表 12.7-1。

表 12.7-1 允许的最长切断电源时间 单位：s		
接地系统型式	50V<U <sub>0</sub> <120V	120V<U <sub>0</sub> <230V
TN	0.8	0.4
TT	0.3	0.2

注 1. U<sub>0</sub> 为标称线对地电压。  
2. 当 TT 系统接地故障时，采用过电流保护电器自动切断电源，并且电气装置内所有外界可导电部分采取等电位联结的情况下，方可采用 TN 系统最长的切断电源时间。

由 IEC 标准的上述规定可知：当末端配电回路同时为固定式和手持式、移动式用电设备供电时，回路的保护电器很难两全得到均能满足两种设备的保护。在这种情况下应作局部等电位联结。

- 3) 为满足带淋浴的卫生间、浴室、游泳池、医院手术室等场所对防电击的特殊要求时，在这些场所应作局部等电位联结。

- 4) 为满足电位联结防雷和信息系统抗干扰的要求时，应在机房和电信间作局部等电位联结。

在图 12.7-1 中，需要说明的是等电位联结不要求用专线将总等电位联结母排与局部等电位联结的端子板相连通，局部等电位联结可独立形成一个等电位面。

5 等电位联结线的截面积

总等电位联结、辅助等电位联结和局部等电位联结的导体截面积见表 12.7-2。

表 12.7-2 总等电位联结、辅助等电位联结和局部等电位联结的导体截面积

	总等电位 联结导体	辅助等电位 联结导体		局部等电位 联结导体	
一般 值	不小于 0.5×进线 PE (PEN) 线截面积	两电气设备 外露可导电 部分间	较小 PE 线 截面积	不小于 0.5×PE 截面积①	
		电气设备与 装置外可导 电部分间	0.5×PE 线截面积		
最小 值	6mm <sup>2</sup> 铜线	有机械保护时	2.5mm <sup>2</sup> 铜线 或 4mm <sup>2</sup> 铝线	有机械 保护时	2.5mm <sup>2</sup> 铜线或 4mm <sup>2</sup> 铝线
		无机械保护时	4mm <sup>2</sup> 铜线	无机械 保护时	4mm <sup>2</sup> 铜线
	16mm <sup>2</sup> 铝线②	16mm <sup>2</sup>			
	50mm <sup>2</sup> 钢				
最大 值	25mm <sup>2</sup> 铜 线或相同 截流量 导线	—		25mm <sup>2</sup> 铜线或相同 截流量导线	

① 局部场所内最大 PE 截面积。  
② 不允许采用无机械保护的铝线。采用铝线时，应保证铝线连接处的持续导通性。



## 第8章 通用电气设备接地

### 1 手持式电力设备的接地

手持式电气设备指工作时需要用手握持的设备，此类设备大多数用护套软线连接至电源插座，如果设备的绝缘发生损坏，人体遭受电击时难以迅速摆脱，使用性质决定了其具有人身触电造成伤亡的危险，为保证使用安全，对手持式电气设备应采取接地保护措施。

#### 1.1 手持式电气设备的保护接地线

1) 手持式电气设备应采用专用的保护接地(PE)线，并且此保护接地线严禁通过工作电流。

2) 手持式电气设备的保护接地线，应采用铜制线芯，其截面积应符合热稳定要求，当保护线截面积按表12.8-1的规定选取时，则不必再对其进行热稳定校验。

表 12.8-1 保护线的最小截面积 单位: mm<sup>2</sup>

装置的相线截面积	接地线和保护线最小截面积
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

注 1. 表中数值只在接地线及保护线的材料与相线相同时才有效;  
2. 当保护线采用一根绝缘导线时，其截面积应不小于：有机械保护时，2.5mm<sup>2</sup>；无机机械保护时，4mm<sup>2</sup>。

#### 1.2 手持式电气设备的插座结构形式

1) 手持式电气设备的插座上应备有专用的接地插孔；金属外壳的插座，其接地触头和金属外壳应有可靠的电气连接。

2) 手持式电气设备所用插头的结构应具有避免将导电插头误做接地插头的功能，插座和插头的接地触头应在导电触头接通之前连通并在导电触头脱离后才断开。

3) 手持式电气设备的接地故障保护装置应能在规定的时间内自动切断故障回路，在相线对地标称电压为220V的TN系统中，其切断故障回路的时间不应超过0.4s。

#### 1.3 安全电压下使用的插头及插座的构造

在安全电压下使用的插头及插座在构造上必须符合下列要求：

- 1) 安全电压插头不能插入其他电压系统的插座。
- 2) 安全电压插座不能被其他电压系统的插头插入。
- 3) 安全电压插座不应设置保护线插头。

### 2 移动式电气设备的接地

移动式电气设备指工作时可能用手移动的设备，由于存在人身触电事故的危险，移动式电气设备应设置保护接地，移动式电气设备的接地应符合下列要求：

1) 由固定式电源或由移动式发电机供电的移动式用电设备的外露可导电部分应与电源的接地系统有可靠的金属连接。在中性点不接地的供电系统中，可在移动式用电设备附

近设接地装置以就近接地，如果在移动式用电设备附近有自然接地体，则应该充分利用。

2) 移动式电气设备的接地电阻。在低压供电系统中，电源中性点的接地电阻不宜大于4Ω；在由单台容量不超过100kV·A或使用同一接地装置并联运行且总容量不超过100kV·A或发电机供电的低压供电系统中，电气装置的接地电阻不宜大于10Ω。

如根据移动式用电设备的特殊情况，按照要求设置接地不可能达到时，可以采用自动切断电源装置（包括剩余电流动作保护装置）代替接地装置。

3) 移动式电气设备的接地应符合固定式电气设备的接地要求，但在下列情况下可以不接地（爆炸危险场所的电气设备除外）：

①移动式用电设备的自用发电设备直接放在机械的同一金属支架上，而且不向其他设备供电时。

②不超过两台用电设备由专用的移动发电机供电，用电设备距移动式发电机不超过50m，且发电机和用电设备的外露可导电部分之间有可靠的金属连接时。

4) 移动式电气设备的接地故障、保护装置应能在规定的时间内自动切断故障回路，在相线对地标称电压为220V的TN系统中，其切断故障回路的时间应不超过0.4s。

5) 移动式用电设备的接地导体、保护导体的截面积，应符合表12.8-1的要求。

### 3 直流电气设备接地

接地装置实际上相当于一个电极，当接地极中有直流电向地中流散时，就会产生电解作用，会对接地装置产生电腐蚀，缩短接地装置的寿命。尤其在潮湿的土壤中腐蚀现象会更为严重，因此对直流电气设备的接地应考虑如下因素：

1) 凡是能与大地构成闭合回路且经常流过电流的接地线应沿绝缘垫板敷设，不得与金属管道、建筑物构件、设备的有金属性的连接。

2) 经常流过电流的接地线和接地体除应符合载流量和热稳定的要求外，其地下部分的最小规格应不小于：圆钢直径10mm，扁钢和角钢厚度6mm，钢管管壁厚度4.5mm。

3) 接地装置宜避免敷设在土壤中含有电解时排出活性作用物质或各种溶液的地方，必要时可采用外引式接地装置，否则应采用改良土壤的措施。

如果实施上述方法有困难，则可采用防腐型接地装置，这种接地装置采用圆钢或铜棒为基体，在其表面覆有一层铜、铅、铝等有色金属材料，具有防腐性能好，寿命长等特点。

4) 采用不接地方式。当建筑物中安装的直流电气设备较少时，宜采用直流系统对地绝缘方式，并设置对地绝缘监视装置进行检测。

5) 对需要利用大地作为通信信号回路，以减少电话通信中由于用户线路对地绝缘不良引起的串话时，将直流系统的一个极接地。

## 4 电子设备的接地

### 4.1 电子设备的接地种类

电子设备一般应具有下列几种接地：信号接地、电源接地、保护接地、防静电接地、屏蔽接地、防电涌过电压接地。

### 4.2 电子信息设备的接地系统形式

电子信息设备的接地系统的形式一般可根据电子设备的工作频率和接地引线的长度来确定。

#### (1) 单点接地方式

适用于低频 0~30kHz 的电路，也可高至 300kHz，信号电路以一点作为参考点，并将该点连接至接地系统。在单点接地系统中，应将电子设备的信号接地、功率接地和保护接地等采用分开敷设的接地引线，放射式连接至接地装置。因为这种接地系统需要大量的接地导体，造价较高，故实际工程中经常以不同程度的近似单点接地系统替代理想单点接地系统，常用的有从总接地极引出多根接地母线或树枝状接地母线至各个独立电子设备（系统）中，每个电子设备（系统）的各种接地保护引线就近汇集至该接地母线上。

单点接地的基本方式如图 12.8-1 所示。

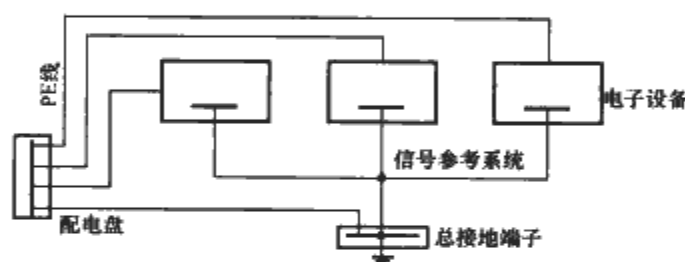


图 12.8-1 单点信号接地示意图

#### (2) 多点接地方式

适用于高频大于 300kHz 的电路，也可低至 30kHz。信号电路采用多条导电通道与接地网络或等电位面连接，多点接地的基本方式如图 12.8-2 所示。

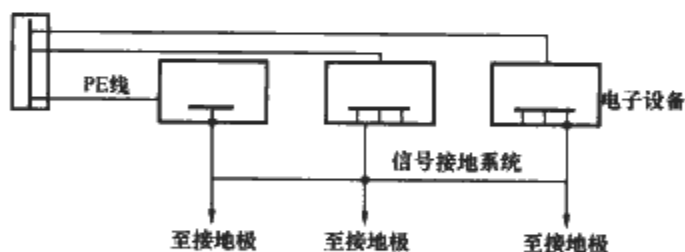


图 12.8-2 多点信号接地示意图

对于高频信号电路的接地，多点接地是行之有效的办法，当最高频率时，接地导体长度大于  $\lambda/8$  ( $\lambda$  为波长)，则需要采用等电位接地平面。

高频电子设备的金属底板，一般用做信号参考点，再将底板和机壳进行多点连接，以获得低阻抗的通道。

多点接地时要确保 50Hz 电源电流和其他流过接地系统的大幅值低频电流不致以传导方式耦合至信号电路，以避免在敏感的低频电路中产生不允许的干扰。

#### (3) 混合接地方式

适用于频率为 30~300kHz 的电路为单点接地和多点接地的组合方式。具体做法是设置一个等电位接地平面，以满足高频信号接地的要求，再以单点接地方式连接至同一接地极系统，以满足低频信号接地要求。

单点接地和多点接地的混合式接地方式如图 12.8-3

所示。

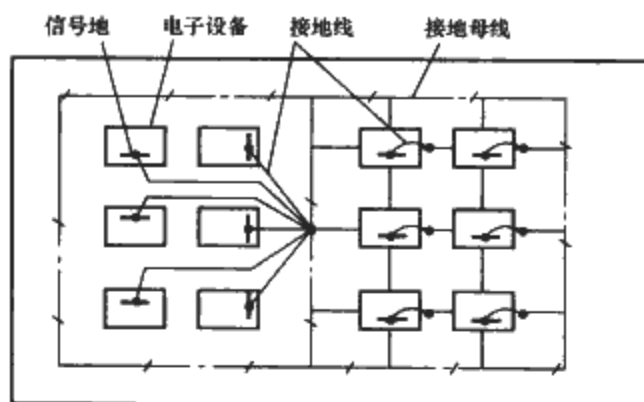


图 12.8-3 混合式接地示意图

### 4.3 接地系统形式的选择

1) 上述三种接地系统的选用可根据高频阻抗及射频电阻计算结果决定

$$Z = R_d \sqrt{1 + \left( \tan 2\pi \frac{L}{\lambda} \right)^2} \quad (12.8-1)$$

$$R_d = 0.26 \times 10^{-6} \sqrt{\frac{\mu f}{G}} \frac{L}{b} \quad (12.8-2)$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (12.8-3)$$

式中， $L$  为从仪表或设备至环状接地极的接地引线长度，m； $b$  为接地引线宽度，mm； $\lambda$  为波长，m； $\mu$  为接地引线相对于铜的导磁率； $G$  为接地引线相对于铜的导电率； $f$  为设备工作频率，Hz； $Z$  为接地引线的高频阻抗， $\Omega$ ； $R_d$  为接地引线表面的射频电阻， $\Omega$ 。

接地线长度小于  $0.02\lambda$  时采用单点接地，接地线长度大于  $0.02\lambda$  时采用多点接地。在 300kHz 时，接地线长度约为 200m；在大于 300kHz 时，一般接地线长度将超过  $0.02\lambda$ ，应采用多点接地。

2) 上述三种接地的选用也可根据信号接地线长度和电子设备的工作频率查图 12.8-4 选择。

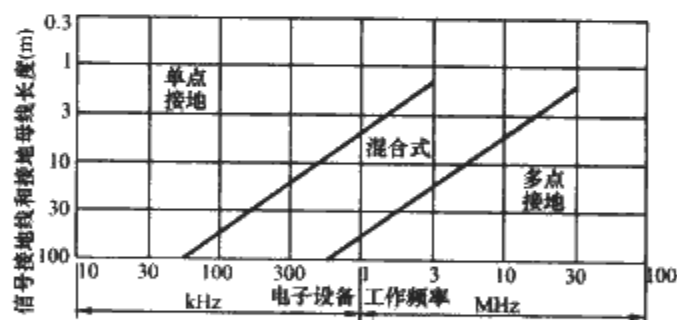


图 12.8-4 电子设备信号接地型式选择

在上述三种接地系统中，无论采用哪种接地系统，其接地导体长度  $L = \lambda/4$  及  $\lambda/4$  的奇数倍的情况应该避免，因为此时其阻抗为无穷大，相当于一根天线，可接受或辐射干扰信号。

### 4.4 电子设备的接地电阻值

电子设备接地电阻值除另有规定外，一般不宜大于  $4\Omega$ ，并采用一点接地的方式。电子设备接地宜与防雷接地系统共用接地网，此时接地电阻应不大于  $1\Omega$ 。

电子设备接地若与防雷接地分开时，则两组接地装置的距离不宜小于 10m。不论采用共用接地系统还是分开接地系统，均应符合 12.3 章中关于建筑物防雷接地的有关条款。

对于高频的信号电路的接地，低阻抗和等电位联结措施十分重要，当与其他接地系统联合接地时，按各接地系统中

接地电阻的最小值确定。

#### 4.5 信号接地线及接地母线材料选择

1) 信号接地线可采用金属带、扁平编织带和圆形截面的电缆,工作于高频的设备宜采用长宽比不小于 1:5 的扁平导体,一般采用厚  $0.35\sim 0.5\text{mm}^2$  的薄铜排,薄铜排宽度选择见表 12.8-2。

表 12.8-2 信号接地线薄铜排宽度选择表

电子设备灵敏度 ( $\mu\text{V}$ )	接地线长度 (m)	电子设备工作频率 (MHz)	薄铜排宽度 (mm)
1	$<1$	$>0.5$	120
1	1~2		200
10~100	1~5		100
10~100	5~10		240
100~1000	1~5		80
100~1000	5~10		160

2) 接地母线一般也采用薄铜排,可按电子设备工作频率  $f$  来选择其规格。当  $f\geq 1\text{MHz}$  时,为  $0.35\text{mm}\times 120\text{mm}$ ;当  $f<1\text{MHz}$  时,为  $0.35\text{mm}\times 80\text{mm}$ 。

#### 4.6 其他保护措施

电子设备应根据需要决定是否采用屏蔽措施。电子设备还应考虑雷电防护措施。

敏感的电子设备不应布置在可能成为电磁干扰源设备的近旁,如电动机、电焊机、计算机、整流器、换流器、变频器、电梯、变压器、荧光灯、气体放电灯等。电子设备及其交流电源线、信号线应离开防雷引下线至少 2m 或加以屏蔽。

### 5 电话交换机的接地

#### 5.1 电话交换机的接地装置的种类

电话交换机的接地包括:直流电源接地、电信设备机壳或机架和屏蔽接地、通信线缆的金属护套或屏蔽层的接地、引入线的避雷装置接地等。上述几种接地均应与全站共用的接地装置相连。

#### 5.2 电话交换机的接地要求

- 1) 直流电源接地,在无特殊要求时,宜采用正极接地。
- 2) 电话交换机的交流配电、整流等供电设备的外露可导电部分,当不与通信设备在同一机架(柜)内时,应采用专用保护线(PE)与之相连。直流设备的外露可导电部分,当与交流配电设备的外露可导电部分相互连接时,应采用专用保护线(PE)与之相连;当不连通时,应采用接地保护,接到通信接地装置上。
- 3) 电话交换机的通信接地不宜与交流工频接地互通,当电话站有专用交流供电变压器或位于有专用交流供电变压器的建筑物内时,其通信接地装置可与专用交流变压器中性点的接地装置合用。此时需要接地的通信设备应设专用保护干线(PE 干线)引至合用接地体或总接地母排,不应利用电源系统的接零保护干线接地。

#### 5.3 电话交换机的接地电阻要求

- 1) 电话交换站与办公楼或高层民用建筑合建时,若

条件允许,则通信设备接地装置宜与建筑物防雷接地装置分开设置,但在实际工程中往往无法实现,可采用通信设备接地与建筑物防雷接地及交流工频供电系统的接地共用接地体的方式,此时共用接地电阻值应不大于  $1\Omega$ 。

2) 不利用大地作为信号回路的机电制电话交换机、载波机、调度电话总机、会议电话汇接机或终端机等通信设备的接地装置,其接地电阻值应符合下列要求:

- ① 直流供电的通信设备的接地电阻应不大于  $15\Omega$ 。
- ② 交流供电或交、直流两用的通信设备的接地电阻,当设备的交流单相负荷小于或等于  $0.5\text{kV}\cdot\text{A}$  时,应不大于  $10\Omega$ ,大于  $0.5\text{kV}\cdot\text{A}$  时,应不大于  $4\Omega$ 。
- 3) 程控式交换机的接地电阻一般应不大于  $5\Omega$ 。
- 4) 当电话站的接地同时又作为外线电缆防止交流电气化铁路干扰影响的终端抗干扰接地时,其工频接地电阻应不大于  $1\Omega$ 。

5) 电话站通信设备接地装置如与电气防雷接地装置合用时,应用专用接地干线引入电话站内,专用接地干线宜采用不小于  $25\text{mm}^2$  截面积的绝缘铜芯导线二根,并穿管敷设至接地装置。铜芯线与扁钢连接处应做铜铁过渡接点连接或焊接。

6) 电话站内各通信设备间的接地连线应采用铜芯绝缘导线。

### 6 大、中型电子计算机接地

#### 6.1 电子计算机接地的种类

电子计算机常用以下几种接地方式:

- 1) 直流工作接地(包括逻辑及其他模拟量信号系统的接地)。
  - 2) 交流工作接地。
  - 3) 安全保护接地。
  - 4) 防雷接地。
- 电子计算机房可根据需要采取防静电措施。

#### 6.2 电子计算机的接地电阻值要求

1) 根据现行国家规范《电子计算机房设计规范》(GB 50174—1993)的规定,交流工作地、安全保护地的接地电阻均应不大于  $4\Omega$ ,直流工作地的接地电阻值按照计算机系统的具体要求确定。

2) 电子计算机房设在建筑物内时,宜与建筑物内各接地系统采用共用接地的方式,其接地电阻应以诸种接地配置中要求接地电阻最小的接地电阻值为依据;若防雷接地单独设置接地装置时,其余三种接地宜共用一组接地装置,其接地电阻不应大于其中的最小值,并应按现行国家规范《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—1994)(2000 版)的要求采取防止反击的措施。

3) 对直流工作地有特殊要求需单独设置接地装置的计算机系统,其接地电阻值及与其他接地装置的接地体之间距离应按照计算机系统有关规范要求确定。

#### 6.3 电子计算机的接地装置

1) 为避免对计算机系统的电磁干扰,电子计算机各机柜中的信号电路接地应接至接地母排(一般是位于机房内活动地板下的铜排网)上,由计算机设备至铜排网的连接导线应采用多股编织铜线,且应尽量缩短连接距离,铜排网可采用格栅布置,尽量使各接地点处于同一等电位上。

2) 电子计算机房的接地应采用单点接地,并宜采取等

电位联结措施。

3) 当多个电子计算机系统共用一组接地装置时, 宜将各电子计算机系统分别采用接地线与接地装置连接。

电子计算机房采用单点接地的连接示意如图 12.8-5 所示。

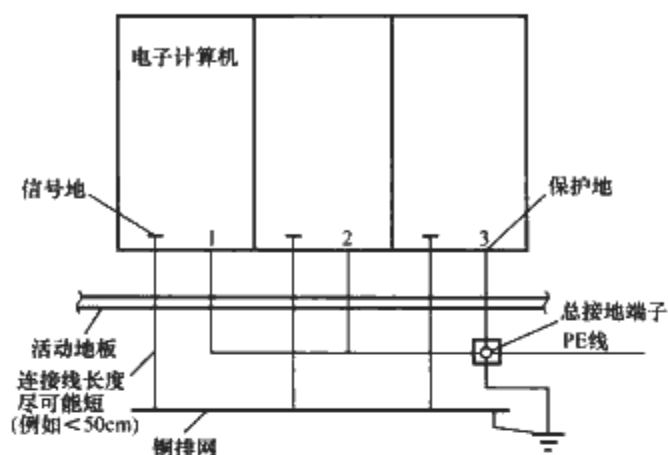


图 12.8-5 电子计算机房单点接地示意图

#### 6.4 电子计算机接地装置的抗干扰措施

为了防止干扰, 使计算机系统稳定可靠地工作, 对于接地导体的处理应满足下列要求:

1) 无论计算机直流工作地采用何种方式, 在机房不允许与交流工作地接地线相短接或混接。

2) 交流线路配线不允许与直流接地导体紧贴或近距离地平行敷设, 应敷设于不同的支架上, 间距不小于 30cm, 末端回路可置于共同支架上, 间距至少为 5cm。避免形成过大的环路, 以防止产生危险的感应电压和感应电流。交叉时宜成直角。

#### 6.5 信号接地线的选择

运行经验证明, 由计算机设备至接地铜排网的连接接地线宜采用  $0.35\text{mm} \times 100\text{mm}$  或  $0.5\text{mm} \times 100\text{mm}$  的薄铜排。电子计算机房活动地板下的铜排网, 一般按活动地板的尺寸采用  $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$  的网格, 也可按电子计算机机柜的位置来敷设, 这样可以缩短接地线的长度。

#### 6.6 电子计算机房可根据需要采取防静电接地措施

1) 电子计算机房的所有金属导体及设备外露可导电部分均应与接地系统作可靠的连接, 不得有对地绝缘的孤立导体。

2) 电子计算机房的防静电地面、活动地板、工作台面、座椅垫套必须进行静电接地。电子计算机房的工作台面、座椅垫套材料应是导电的, 其体积电阻率应为  $(1.0 \times 10^7 \sim 1.0 \times 10^{10}) \Omega \cdot \text{cm}$ 。

3) 防静电接地线应有足够的机械强度和化学稳定性, 防静电地面和台面采用导电胶与接地导体粘接时, 其接触面积不宜小于  $10\text{cm}^2$ 。

4) 防静电接地可以经限流电阻及自身的连接线与接地装置相连, 限流电阻的阻值宜为  $1\text{M}\Omega$ 。

5) 工作间不采用活动地板时, 宜敷设防静电地面, 其材料可采用导电胶与建筑地面粘牢, 防静电材料的体积电阻率应为  $(1.0 \times 10^7 \sim 1.0 \times 10^{10}) \Omega \cdot \text{cm}$ 。其导电性能应长期稳定。

6) 主机房采用的活动地板的承重部分由钢或其他阻燃材料组成, 活动地板面层为防静电材料, 严禁暴露金属部分, 活动地板的电阻应符合现行国家标准《防静电活动地板通用规范》(SJ/T 10796—2001) 的规定。

## 7 医疗电气设备接地的要求

### 7.1 接地装置的类型

医疗及诊断电气设备, 应根据使用功能要求采用保护接地、功能接地、等电位联结或不接地等型式。

### 7.2 供电系统的接地型式

#### (1) IT 系统

在 2 类医疗场所内, 用于维持生命、外科手术和其他位于患者区域内的医用电气设备和系统的供电回路, 均应采取医疗 IT 系统。

医疗 IT 系统应配置 IT 变压器及绝缘监视装置。

#### (2) TN 系统

需设置保护接地的医疗设备, 如低压系统已是 TN 形式, 则应采用 TN-S 系统供电, 严禁采用 TN-C 系统, 并按下列要求装设剩余电流动作保护器:

1) 在 1 类医疗场所额定电流不大于 32A 的终端回路, 采用最大剩余动作电流不超过 30mA 的剩余电流动作保护器作为附加保护措施。

2) 在 2 类医疗场所, 采用额定剩余动作电流不超过 30mA 的剩余电流动作保护器作为自动切断电源的措施时, 仅应用于下列回路:

- ① 手术台驱动机构的供电回路。
- ② 移动式 X 光机的供电回路。
- ③ 额定功率大于 5kVA 的大型设备的回路。
- ④ 非用于维持生命的电气设备回路。

#### (3) TT 系统

TT 系统要求在所有情况下均采用剩余电流保护器, 其他要求与 TN 系统相同。

注: 按使用接触部件的部位及场所, 医疗场所分为 0、1、2 三类:

1. 0 类场所: 为不使用接触部件的医疗场所。
2. 1 类场所: 为以下列方式使用接触部件的医疗场所, 即: 接触部件接触躯体外部; 除去 2 类场所外, 接触部件侵入躯体的任何部分。
3. 2 类场所: 为接触部件用于诸如心内诊疗术、手术室以及断电将危及生命的重要治疗的医疗场所。

### 7.3 防微电击保护措施

使用插入体内接近心脏或直接插入心脏的医疗电气设备的器械, 应采取的防微电击保护措施如下:

1) 宜采用等电位联结方式。将室内给水管、金属窗框、病房的金属框架及患者有可能在 2.5m 范围以内直接或间接接触到的各部分金属部件进行等电位联结, 用于上述等电位联结的保护线 (或接地线) 的电阻值, 应使上述金属导体相互间的电位差限制在 10mV 以下。

2) 应采用 II 类电气设备供电。

### 7.4 辅助等电位联结措施

辅助等电位联结应符合下列规定:

1) 在每个 1 类和 2 类医疗场所内, 应安装辅助等电位联结导体, 并将其连接到位于“患者区域”内在下列部分之间实现等电位的等电位联结母线上:

- ① 保护导体。
- ② 外界可导电部分。
- ③ 抗电磁场干扰的屏蔽物。

④导电地板网络。

⑤隔离变压器的金属屏蔽层。

2) 在每个2类医疗场所内,电源插座的保护导体端子、固定设备的保护导体端子或任何外界可导电部分,这些部分和等电位联结母线之间的导体的电阻(包括接头的电阻在内)应不超过 $0.2\Omega$ 。

3) 等电位联结母线应位于医疗场所内或靠近医疗场所。在每个配电盘内或在其附近应装设附加的等电位联结母线,应将辅助等电位导体和保护接地导体与该母线相连接。连接的位置应使接头清晰易见,并便于单独拆卸。

4) 当变压器以额定电压和额定功率供电时,空载出线线圈测得的对地泄漏电流和外护物的泄漏电流均不应超过 $0.5\text{mA}$ 。

5) 用于移动式和固定式设备的医疗IT系统应采用单相变压器。其额定输出容量在 $0.5\text{kVA}$ 至 $10\text{kVA}$ 之间。

## 7.5 医疗电气设备接地电阻的要求

1) 医疗电气设备功能性接地电阻值应按设备技术要求决定,在一般情况下,宜采用共用接地方式,当采用单独接地时,医疗电气设备接地应与医疗场所接地绝缘隔离,采用联合接地体时,接地电阻应小于等于 $1\Omega$ ,采用单独接地时,一般不大于 $4\Omega$ 。若与防雷接地系统分开,两接地系统之间的距离不宜小于 $10\text{m}$ 。

2) 向医疗电器设备供电的电源插座结构应符合12.8章第1.2条的要求。

3) 医疗电气设备的保护线及接地线应采用铜芯绝缘导线,其截面应符合表12.8-1的规定。

## 7.6 其他要求

手术室及抢救室应根据需要采取防静电措施。

# 8 屏蔽接地

## 8.1 屏蔽接地的概念

为防止电磁感应,对视频、音频线的屏蔽金属外皮、电子设备的金属外壳、屏蔽罩、建筑物的金属屏蔽网(如测灵敏度、选择性等指标的屏蔽室)进行接地的一种防护措施。

屏蔽接地要综合考虑,因为屏蔽本身既可防外界干扰,又可能通过它对外界构成干扰,因而在设备内各元器件之间也要考虑防电磁干扰的问题。

## 8.2 设置屏蔽接地的必要性

屏蔽不良、接地不当会引起干扰,这些干扰主要有:

1) 交流干扰。这主要由交流电源引起。对交流干扰的防护,通常是对电源进行滤波或在电源变压器初次级间加屏蔽层并接地。在大的杂散电磁场外,为防电磁干扰进行屏蔽接地十分必要。

2) 高频干扰。这类干扰来自各类无线发射台的变频或超变频信号,它们窜入电子设备后在机内得到非正常解调而形成声频干扰,信号频率越高,建筑物或设备的金属隔栅就应越小,信号线屏蔽层的编织就应越密,否则将失去屏蔽作用。若屏蔽脱落,则很容易造成干扰。

## 8.3 屏蔽接地的设置方式

(1) 电路的屏蔽罩接地

各种易受电磁辐射干扰的电路应设置屏蔽罩,由于信号

电路与屏蔽罩之间存在寄生电路,因此应将信号电路地线末端与屏蔽罩相连,以消除寄生电容的影响,并将屏蔽罩接地,以消除共模干扰。

屏蔽接地示意如图12.8-6所示。

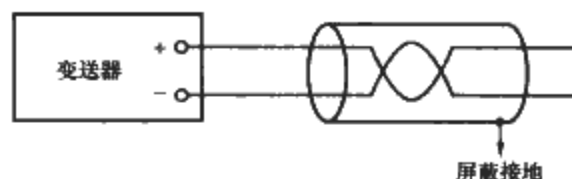


图 12.8-6 屏蔽接地示意图

(2) 电缆的屏蔽层接地

1) 低频电路电缆的屏蔽层接地。低频电路电缆的屏蔽层接地应采用一点接地的方式,而且屏蔽层接地点应与电路的接地点一致。对于多层屏蔽电缆,每个屏蔽层应在一点接地,各屏蔽层应相互绝缘。电缆屏蔽层单端接地示意如图12.8-7所示。

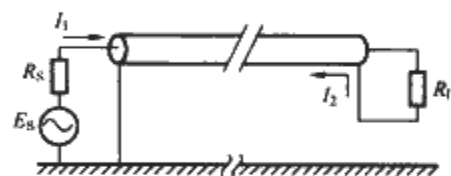


图 12.8-7 电缆屏蔽层单端接地示意图

2) 高频电路电缆的屏蔽层接地。高频电路电缆的屏蔽层接地应采用多点接地的方式,在受到条件限制时,应至少将屏蔽层两端接地。电缆屏蔽层两端接地示意如图12.8-8所示。

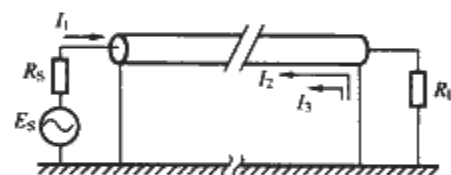


图 12.8-8 电缆屏蔽层两端接地示意图

3) 系统的屏蔽体接地。当整个电子信息系统需要抵抗外界电磁干扰或需要防止系统对外界产生干扰时,应将整个系统屏蔽起来,并将屏蔽体连接到系统接地地上。

# 9 防静电接地

## 9.1 静电的产生及危害

电阻系数大于 $0.1\Omega \cdot \text{m}$ 的物质,在一定条件下,经运动、摩擦时产生静电,这些静电聚集在设备、管道、容器上形成高电位,该高电位向相邻的物体放电产生火花,在一定环境下会引起物质燃烧或爆炸,造成人员财产损失,或因静电电位的变化,造成电子设备工作失调等严重后果。各种静电放电的特性和相对引燃能力见表12.8-3。

表 12.8-3 各种静电放电的特性和相对引燃能力

放电种类	发生条件	特点及燃性
电晕放电	当电极相距较远,在物体表面的尖端或突出部分电场较强处较易发生	有时有声光,气体介质在物体尖端附近局部电离,不形成放电通道。感应电晕单次脉冲放电能量小于 $20\mu\text{J}$ ,有源电晕单次脉冲放电能量则较大若干倍,引燃能力甚小
刷型放电	在带电电位较高的静电非导体与导体间较易发生	有声光,放电通道在静电非导体表面附近形成许多分叉,在单位空间内释放的能量较小,一般每次放电能量不超过 $4\text{mJ}$ ,引燃能力中等



续表

放电种类	发生条件	特点及燃性
火花放电	主要发生在相距较近的带电金属导体之间	有声光，放电通道一般不形成分叉，电极上有明显放电集中点，释放能量比较集中，引燃能力很强
传播型刷型放电	仅发生在具有高速起电的场合，当静电非导体的厚度小于 8mm，表面电荷密度大于或等于 $2.7 \times 10^{-1} \text{C/m}^2$ 时较易发生	放电时有声光，将静电非导体上一定范围内所带的大量电荷释放，放电能量大，引燃能力很强

9.2 防静电的主要方法

- 1) 减少静电荷产生。
- 2) 使静电荷尽快对地泄漏。
- 3) 除静电非导体的静电，宜采用高压电源、感应式或放射式等类型的静电消除器。
- 4) 将带电体进行局部或全部静电屏蔽，同时屏蔽体应可靠接地。
- 5) 在设计和制作工艺装置和设备时，应尽量避免存在静电放电的条件。
- 6) 控制气体中可燃物的浓度，保持在爆炸下限以下。

9.3 防静电接地的措施

- 1) 静电导体与大地间的总泄漏电阻值在通常情况下应不大于  $10^6 \Omega$ ，为了消除静电，专设的接地电阻一般为  $100 \Omega$ ，在易燃易爆区宜为  $30 \Omega$ ，在山区等土壤电阻率较高的地区，其接地电阻也不宜大于  $1000 \Omega$ 。如果与其他装置合用接地系统，则应设置专用的防静电接地线。
- 2) 在存在静电引爆危险的场所，所有属静电导体的物体必须接地，对金属物应采用金属导体与大地作导通性连接，对金属以外的静电导体及亚导体则应作间接接地。
- 静电亚导体是指在任何条件下，导体电阻率大于  $1 \times 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ ，小于  $1 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$  的物料及表面电阻率大于  $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ ，小于  $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$  的固体表面。
- 3) 间接接地：为使金属以外的物体进行静电接地，将其表面的局部或全部与接地的金属体紧密相接的一种接地方式。
- 4) 对于某些特殊情况，为了限制静电导体对地的放电电流，允许人为地将其泄漏电阻值提高到不超过  $10^9 \Omega$ 。
- 5) 生产工艺设备应采用静电导体或静电亚导体，避免使用静电非导体。
- 6) 在生产现场使用的静电导体制作的操作工具，应作接地。
- 7) 防静电接地电阻的阻值不大于  $10 \Omega$ 。



# 第9章 接地电阻的计算

## 1 接地电阻的概念

### (1) 接地电阻

接地体的流散电阻和接地体及其接地连接电阻的总和，称为接地装置的接地电阻。

接地体接地回路的电阻是复数阻抗，包含电阻、电容和电感分量，所有这些分量都影响接地电路的载流能力，对于工频接地回路，接地电阻分量起到主要作用，该电阻受接地回路附近范围内土壤电阻率的影响。对无线电通讯及雷击等较高频接地电路则是电容和电感分量起到主要作用。

接地电阻的数值等于接地装置对地电压与通过接地体流入地中电流的比值。

### (2) 工频接地电阻

按通过接地体流入地中工频交流电流求得的接地电阻，称为工频接地电阻。

### (3) 冲击接地电阻

按通过接地体流入地中冲击电流（雷电流）求得的接地电阻，称为冲击接地电阻。

## 2 土壤和水的电阻率

土壤电阻率不仅随土壤的类型变化，而且随温度、湿度、含盐量、溶解在土壤中的水溶化合物的成分和浓度、土壤的紧密程度而变化，海水地区的土壤电阻率为0.01~1，砂岩地区的土壤电阻率可高达 $10^9 \Omega \cdot m$ ，温度自25℃向0℃下降时，土壤电阻率随之缓慢上升，在0℃以下则迅速上升，而冻土的土壤电阻率是非常高的。

测量数据表明，土壤电阻率 $P_s$ 主要是深度 $z$ 的函数，可写成如下形式

$$P_s = \phi(z)$$

式中， $P_s$ 为土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ ； $z$ 为深度， $m$ 。

接地极及接地极附近的电位梯度主要是上层土壤电阻率的函数，但接地极的接地电阻却主要是深层土壤电阻率的函数，在接地极非常大时更是如此。

输电线路的工频接地参数受不同电阻率的各层土壤的影响，而载波频率、无线电频率或冲击波的地回路阻抗仅受上层几米土壤层的影响。

土壤电阻率应以实测值为依据，当缺少实测值时，可参照表12.9-1。

表 12.9-2 常用人工接地极的接地电阻（Ω）的理论计算公式

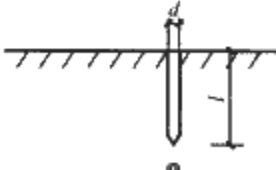
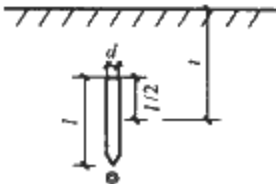
接地体类型	埋设简图	接地电阻计算公式	备 注
垂直管形 接地极 1		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg d$
垂直管形 接地极 2		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4-l} \right)$	$l \gg d$ $4t > l$

表 12.9-1 土壤、水及混凝土的电阻率参考值

类别	名称	电阻率 近似值 ( $\Omega \cdot m$ )	不同情况下电阻率的变动范围 ( $\Omega \cdot m$ )		
			较潮时 (多雨区)	较干时 (少雨 区、沙漠区)	地下水 含盐碱
泥土	冲积土	5			1~5
	陶黏土	10	5~20	10	3~10
	泥炭、泥灰 岩、沼泽地	20	10~30	50~300	3~30
	黑土、园田 土、白垩地	50	30~100	50~300	10~30
	黏土	60	30~100	50~200	10
	砂质黏土	100	30~100	80~1000	10
	黄土	200	100~200	250	30
	含砂黏土、 砂土	300	100~1000	1000以上	30~100
	多石土壤	400			
	河滩中的砂 煤		300 350		
砂岩石	沙子、沙砾	1000	250~1000	1000~2500	
	砾石、碎石	5000	1000~10 000		
	多岩山地	5000			
	花岗岩	200 000			
混凝土	在水中	40~55			
	在湿土中	100~200			
	在干土中	500~1300			
	在干燥的 大气中	12 000~ 18 000			
矿	金属矿石	0			
	海水	1~5			
	湖水、池水	30			
	泥水、泥 炭中水	15~20			
	泉水	40~50			
	地下水	20~70			
	溪水	50~100			
	河水	30~280			

## 3 均匀土壤中接地电阻的计算

### 3.1 人工接地极的接地电阻计算

1) 常用人工接地极的接地电阻可按表12.9-2所列理论计算公式进行计算。

续表			
接地体类型	埋设简图	接地电阻计算公式	备 注
垂直角钢 接地极		$R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2l}{0.708\sqrt{bh(b^2+h^2)}}+\frac{1}{2}\ln\frac{4t+l}{4t-l}\right)$	$4t>l$ $b\ll l$ $h\ll l$
垂直槽钢 接地极		$R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2l}{0.929\sqrt{b^3h(b^2+h^2)}}+\frac{1}{2}\ln\frac{4t+l}{4t-l}\right)$	$4t>l$ $b\ll l$ $h\ll l$
平放圆钢 接地极		$R=\frac{\rho}{2\pi L}\ln\left(\frac{2l}{b}+\ln\frac{\sqrt{16t^2+l^2}+l}{4t}\right)$	$l\gg b$ $t\gg b$
平放扁钢接地极		$R=\frac{\rho}{2\pi L}\ln\left(\frac{4l}{b}+\ln\frac{\sqrt{16t^2+l^2}+l}{4t}\right)$	$l\gg b$ $t\gg b$

2) 不同形状水平接地体的接地电阻可按下式计算

$$R_h=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{L^2}{hd}+A\right)$$

式中,  $R_h$  为水平接地体的接地电阻,  $\Omega$ ;  $L$  为水平接地体的总长度, m;  $h$  为水平接地体的埋设深度, m;  $d$  为水平接地体的直径或等效直径, m;  $A$  为水平接地体的形状系数。

水平接地体的形状系数  $A$  可采用表 12.9-3 所列数值。

表 12.9-3 水平接地体的形状系数  $A$

形状	—	L	Y	+	✱	✱	□	○
A	0	0.378	0.867	2.14	5.27	8.81	1.69	0.48

3) 以水平接地体为主, 且边缘闭合的复合接地体, 其接地电阻可按下式计算

$$R_n=a_1R_e \tag{12.9-3}$$

$$a_1=\left(3\ln\frac{L_0}{\sqrt{S}}-0.2\right)\frac{\sqrt{S}}{L_0}$$

$$R_e=0.213\frac{\rho}{\sqrt{S}}(1+B)+\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{S}{9hd}-5B\right)$$

$$B=\frac{1}{1+4.6\frac{h}{\sqrt{S}}}$$

式中,  $R_n$  为复合接地体的接地电阻,  $\Omega$ ;  $R_e$  为等效 (即等面积、等水平接地极总长度) 方形接地网的接地电阻,  $\Omega^2$ ;  $S$  为接地网的总面积,  $m^2$ ;  $L_0$  为接地网的外缘边线总长度, m;  $L$  为水平接地体的总长度, m;  $d$  为水平接地体的直径或等效直径, m;  $h$  为水平接地体的埋设深度, m。

4) 杆塔水平接地极的工频接地电阻可用下式进行计算

$$R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{L^2}{hd}+A_1\right) \tag{12.9-4}$$

式中,  $R$  为水平接地体的接地电阻,  $\Omega$ ;  $\rho$  为土壤电阻率,  $\Omega\cdot m$ ;  $L$  为水平接地体的总长度, m;  $h$  为水平接地体的埋设深度, m;  $d$  为水平接地体的直径或等效直径, m;  $A_1$  为

水平接地体的形状系数。

式中的  $A_1$  和  $L$  可按表 12.9-4 取值。

表 12.9-4  $A_1$  和  $L$  值的选取

接地装置种类	形 状	参 数
铁塔接地装置		$A_1=1.76$ $L=4(l_1+l_2)$
钢筋混凝土杆放射形接地装置		$A_1=2.0$ $L=4l_1+l_2$
钢筋混凝土杆环形接地装置		$A_1=1.0$ $L=8l_2$ (当 $l_1=0$ ) $L=4l_1$ (当 $l_1\neq 0$ )

5) 计算接地电阻时, 可首先确定接地极的类型, 然后采用表 12.9-5 中所列的简易计算公式进行计算。

表 12.9-5 人工接地体工频接地电阻 ( $\Omega$ ) 简易计算式

接地体型式	简易计算式	备注
垂直式	$R\approx 0.3\rho$	长度 8m 左右的接地体
单根水平式	$R\approx 0.03\rho$	长度 60m 左右的接地体
复合式 (接地网)	$R\approx 0.5\frac{\rho}{\sqrt{S}}=0.28\frac{\rho}{r}$ 或 $R\approx\frac{\sqrt{\pi}\rho}{4\sqrt{S}}+\frac{\rho}{L}$ $=\frac{\rho}{4\pi}+\frac{\rho}{L}$	(1) $S$ 大于 $100m^2$ 的闭合接地网 (2) $r$ 为与接地网面积 $S$ 等值的圆的半径, 即等效半径 (m)

计算所得的接地电阻值用  $R$  表示, 单位为  $\Omega$ ;  $L$  为接地极长度, 单位为  $m$ ;  $S$  为接地极所包围的面积, 单位为  $m^2$ ;  $\rho$  为土壤电阻率, 单位为  $\Omega \cdot m$ 。

如果没有实测土壤电阻率, 则可查表 12.9-1 的土壤、水及混凝土的电阻率参考值。

6) 常用人工接地极的工频接地电阻见表 12.9-6。

表 12.9-6 常用人工接地极的工频接地电阻值

工频接 地电阻 ( $\Omega$ )	简 图	材料规格 (mm) 及用量 (m)				材料规格 (mm) 及用量 (m)						
		圆钢 $\phi 20$	圆钢 $\phi 20$	圆钢 $\phi 20$	圆钢 $\phi 20$	100	200	500				
						工频接地电阻 ( $\Omega$ )						
1 根		2.5	2.5	2.5		30.2	75.4	151				
						37.2	92.9	186				
						32.4	81.1	162				
2 根			5.0	5.0	5	10.0	25.1	50.2				
						10.0	26.2	52.5				
3 根			7.5	7.5	10	6.65	16.6	33.2				
						6.92	17.3	34.6				
4 根			10	10	15	5.08	12.7	25.4				
						5.29	13.2	26.5				
5 根			12.5	12.5	20	4.18	10.5	20.9				
20						4.35	10.9	21.8				
6 根					15	15	25	3.58	8.95	17.9		
								3.73	9.32	18.6		
8 根					20	20	35	2.81	7.03	14.1		
								2.93	7.32	14.6		
10 根					25	25	45	2.35	5.87	11.7		
								2.45	6.12	12.2		
15 根					37.5	37.505	70	1.75	4.36	8.73		
								1.82	4.56	9.11		
20 根					50	50	95	1.45	3.62	7.24		
								1.52	3.79	7.58		

3.2 自然接地体的接地电阻计算

自然接地体可以利用作接地装置的自然金属构件、管道或装置, 如建筑物、构筑物的钢筋混凝土基础、金属管道等。

1) 自然接地极的接地电阻可利用表 12.9-7 的简易计算公式进行计算。

表 12.9-7 自然接地极的接地电阻 ( $\Omega$ ) 简易计算公式

接地极型式	计算公式	备注
金属及金属管道	$R = \frac{2\rho}{L}$	
钢筋混凝土基础	$R = 0.2 \frac{\rho}{\sqrt{V}}$	$V$ 是钢筋混凝土基础的体积
铁塔的装配式基础	$R = 0.1\rho$	
门型杆塔的装配式基础	$R = 0.06\rho$	
带有 V 形拉线的门型杆塔的装配式基础	$R = 0.09\rho$	
单根钢筋混凝土线杆	$R = 0.3\rho$	
双根钢筋混凝土线杆	$R = 0.2\rho$	
带有拉线的单、双根钢筋混凝土线杆	$R = 0.1\rho$	
一个拉线盘	$R = 0.28\rho$	

2) 单个基础接地极的接地电阻可按表 12.9-8 的计算公式进行计算。

表 12.9-8 单个基础接地极的接地电阻 ( $\Omega$ ) 计算公式

基础接地极的几何形状	计算式	形状系数值
矩形基础板、矩形条状基础、开敞基础槽的钢筋体或整体加筋的块状基础的钢筋体	$R = 1.1k_2 \frac{\rho}{L_1}$	$k_2$ 值从图 12.9-1 中查出
圆形条状基础的钢筋体	$R = 1.1k_3 \frac{\rho}{D_s}$	$k_3$ 值从图 12.9-2 中查出
外墙不加筋的圆形基础板内的钢筋体	$R = 1.1k_4 \frac{\rho}{D}$	$k_4$ 值从图 12.9-3 中查出
外墙加筋的圆形基础板内的钢筋体	$R = 1.1k_5 \frac{\rho}{D}$	$k_5$ 值从图 12.9-3 查出
杯口形基础的地板钢筋体	$R = 1.1k_6 \frac{\rho}{L_1}$	$k_6$ 值从图 12.9-4 查出
桩基的钢筋体	$R = 1.1k_7 \frac{\rho}{L_P}$	$k_7$ 值从图 12.9-5 查出

表中形状系数  $k_2 \sim k_7$  从图 12.9-1~图 12.9-5 中查得。

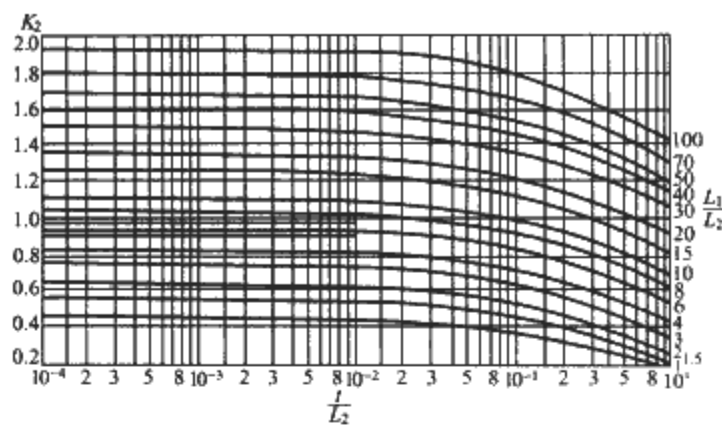


图 12.9-1 形状系数  $k_2$

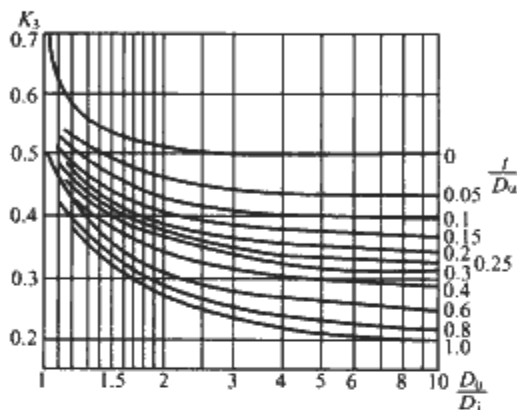


图 12.9-2 形状系数  $k_3$

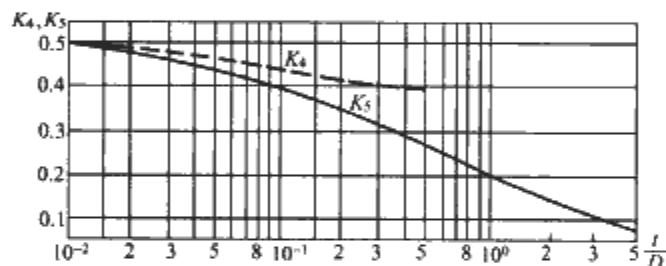


图 12.9-3 形状系数  $k_4$ 、 $k_5$

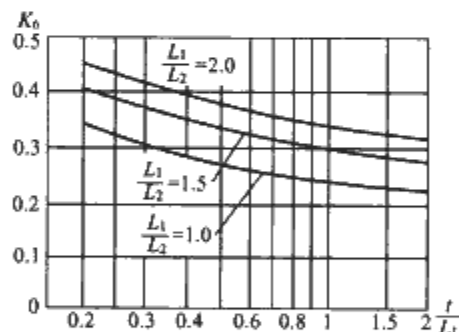


图 12.9-4 形状系数  $k_6$

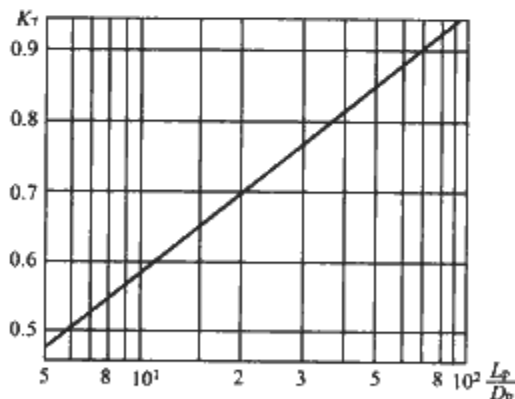


图 12.9-5 形状系数  $k_7$

## 4 非均匀土壤中接地电阻的计算

非均匀土壤是指由电阻率不同的两种土壤组成的地层，当接地极埋设在此种土层时，由于上层的土壤电阻率与下层的土壤电阻率不同，接地电阻会有所变化，因此应先求得等效土壤电阻率后再代入均匀土壤中接地电阻的计算公式进行

计算即可算出非均匀土壤中的接地电阻值。

1) 接地极所埋设的土壤中上、下层土壤的电阻率不同时，不均匀土壤的电阻率以  $\rho_e$  来代表，则有

$$\rho_e = k(\rho_1 - \rho_2) + \rho_1 \quad (12.9-5)$$

式中， $\rho_1$ 、 $\rho_2$  分别为上、下层的土壤电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ； $k$  为计算系数。可从表 12.9-9 中查得。

表 12.9-9 计算系数  $k$

接地极覆盖面积 $S (\text{m}^2)$	接地极埋入土壤的深度 $h$ 为以下数值时的 $k$ 值				
	0.50m	1m	5m	10m	0.50m
$S \leq 100$	0.60	0.45	0.21	0.09	0.03
$100 < S \leq 500$	0.62	0.48	0.28	0.18	0.09
$500 < S \leq 1000$	0.64	0.50	0.35	0.22	0.11
$1000 < S \leq 5000$	0.66	0.55	0.40	0.32	0.13
$5000 < S \leq 10\,000$	0.67	0.60	0.43	0.40	0.14

2) 如果已知接地极经过土壤电阻率为  $\rho_1$  的土层面积为  $S_1$ ，经过土壤电阻率为  $\rho_2$  的土层面积为  $S_2$ ，则等效电阻率  $\rho_e$  为

$$\rho_e = \frac{\rho_1 \rho_2 S}{\rho_1 S_1 + \rho_2 S_2} \quad (12.9-6)$$

式中， $S$  为接地极的接地总面积， $\text{m}^2$ 。

## 5 影响土壤电阻率的因素

### 5.1 土壤含水量对接地电阻的影响

水是均匀导体，所以当河床的土壤电阻率与水的土壤电阻率相差较大时，按上下层土壤电阻率不同的情况进行计算，即按照式 (12.9-5)、式 (12.9-6) 进行计算。此时， $\rho_1$ 、 $\rho_2$  分别为水的电阻率和河床土壤的电阻率， $h$  为水深。

### 5.2 季节变化对接地电阻的影响

随着季节变化，土壤的干湿度、冻结度会发生变化，土壤电阻率也会随之变化，再计算接地电阻时，若需考虑季节变化影响时，应乘以季节系数加以修正，计算公式如下

$$\rho_e = \rho_a \psi \quad (12.9-7)$$

式中， $\rho_a$  为实测土壤电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ； $\psi$  为季节系数。可从表 12.9-10 中查得。

表 12.9-10 根据土壤性质决定的季节系数

土壤性质	深度 (m)	$\psi_1$ (土壤 很潮湿时)	$\psi_2$ (土壤较 潮湿时)	$\psi_3$ (土壤 较干燥时)
黏土	0.5~0.8	3	2	1.5
	0.8~3	2	1.5	1.4
陶土	0~2	2.4	1.36	1.2
沙砾盖于 陶土	0~2	1.8	1.2	1.1
园地	0~3	—	1.32	1.2
掺杂黄沙的 沙砾	0~2	1.5	1.3	1.2
黄沙	0~2	2.4	1.56	1.2
泥沙	0~2	1.4	1.1	1.0
石灰石	0~2	2.5	1.51	1.1

### 5.3 屏蔽效应对接地电阻的影响

当多根接地体相互靠拢时，入地电流的流散相互受到排

挤,其电流分布如图 12.9-6 所示,这种影响称为屏蔽效应。

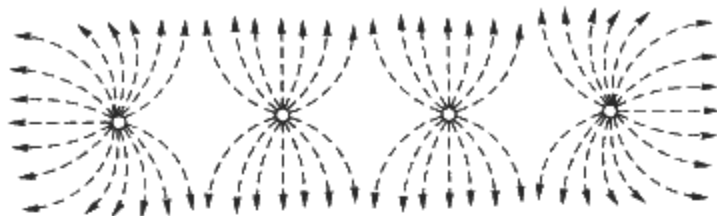


图 12.9-6 接地体之间的电流屏蔽效应

由于屏蔽效应,使得接地装置的利用率下降,所以垂直接地极和水平接地极的间距一般不小于 5m,垂直接地极之间的利用系数  $\eta_E$  见表 12.9-11。

表 12.9-11 多根垂直管形接地极的利用系数  $\eta_E$

敷设方式	管间距离与管子长度之比 ( $a/l$ )	管子根数 $n$	利用系数
排形敷设	1	3	0.76~0.80
	2		0.85~0.88
	3		0.90~0.92
	1	5	0.67~0.72
	2		0.79~0.83
	3		0.85~0.88
	1	10	0.56~0.62
	2		0.72~0.77
	3		0.79~0.83
环形敷设	1	6	0.58~0.65
	2		0.71~0.75
	3		0.78~0.82
	1	10	0.52~0.58
	2		0.66~0.71
	3		0.74~0.78
	1	20	0.44~0.50
	2		0.61~0.66
	3		0.68~0.73
	1	30	0.41~0.47
	2		0.58~0.63
	3		0.66~0.71

在考虑屏蔽效应的情况下,多根垂直管形接地体的接地电阻计算公式为

$$R_E = \frac{R}{n\eta_E} \quad (12.9-8)$$

式中,  $R$  为单根接地体的接地电阻,  $\Omega$ ;  $n$  为管子根数, 根;  $\eta_E$  为利用系数。

## 6 其他环境因素对土壤电阻率的影响

1) 当土壤中含有金属及其他导电杂质时,电阻率会显著下降,接地电阻会减小。

2) 当土壤中含有盐酸碱等化学成分时,电阻率也会显著下降,接地电阻会减小。

3) 如果接地体埋设环境中腐蚀性强,造成接地体腐蚀严重,接地电阻会增大。

## 7 冲击接地电阻的计算

许多接地系统是按暂态工况设计的,例如,按通过雷电

冲击电流设计。简单接地极的冲击接地电阻与冲击电流幅值有关,并按冲击波波形随时间变化。冲击接地电阻是非线性的,是由于在电场强度超过  $2.5 \sim 3\text{kV/cm}$  土壤的局部放电现象引起的。在接地极附近达到最高电场强度时,将接地极附近的土壤层局部短路。因此大冲击电流时,接地系统的接地电阻比常规稳态时的阻抗要小,也比低幅值冲击电流时的阻抗要小。防雷接地冲击电阻阻值要求应不大于  $30\Omega$ 。

### 7.1 单独接地体的冲击接地电阻

单独接地体的冲击接地电阻可用下式计算

$$R_{ch} = aR \quad (12.9-9)$$

式中,  $R_{ch}$  为冲击接地电阻,  $\Omega$ ;  $R$  为单独接地体的工频接地电阻,  $\Omega$ ;  $a$  为单独接地体的冲击系数,其值可根据下列公式进行计算。

(1) 塔杆接地极接地电阻的冲击系数

1) 铁塔接地极

$$a = 0.74\rho^{0.4}(7.0 + \sqrt{L})[1.56 - \exp(-3.0I_p^{0.4})] \quad (12.9-10)$$

式中,  $I_p$  为流过杆塔接地装置或单独接地极的冲击电流,  $\text{kA}$ ;  $\rho$  为土壤的电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ ;  $L$  为接地极长度,  $\text{m}$ 。

2) 钢筋混凝土杆放射式接地极

$$a = 1.36\rho^{0.4}(1.3 + \sqrt{L})[1.55 - \exp(-4.0I_p^{0.4})] \quad (12.9-11)$$

3) 钢筋混凝土杆环形接地极

$$a = 1.36\rho^{0.4}(1.3 + \sqrt{L})[1.55 - \exp(-4.0I_p^{0.3})] \quad (12.9-12)$$

(2) 独立接地极接地电阻的冲击系数

1) 垂直接地极

$$a = 2.75\rho^{0.4}(1.8 + \sqrt{L})[0.75 - \exp(-1.5I_p^{0.2})] \quad (12.9-13)$$

2) 单端流入冲击电流的水平接地极

$$a = 1.62\rho^{0.4}(5.0 + \sqrt{L})[0.79 - \exp(-2.3I_p^{0.2})] \quad (12.9-14)$$

3) 中部流入冲击电流的水平接地极

$$a = 1.16\rho^{0.4}(7.1 + \sqrt{L})[0.78 - \exp(-2.3I_p^{0.2})] \quad (12.9-15)$$

(3) 塔杆自然接地极接地电阻的冲击系数

$$a = \frac{1}{1.35 + a_p I_p^{1.5}} \quad (12.9-16)$$

注:塔杆自然接地极的效果仅在  $\rho \leq 300\Omega \cdot \text{m}$  时才加以考虑。

### 7.2 多根水平接地体或垂直接地体的冲击接地电阻

如接地装置由很多水平接地体或垂直接地体组成,为减少相邻接地体的屏蔽作用,垂直接地体的间距应不小于其长度的两倍;水平接地体的间距可根据具体情况确定,但不宜小于 5m。

1) 由  $n$  根等长水平放射形接地体组成的接地装置,其冲击接地电阻可按式计算

$$R_{ch} = \frac{R'_{ch}}{n\eta_{ch}} \quad (12.9-17)$$

式中,  $R'_{ch}$  为每根水平放射形接地体的冲击接地电阻,  $\Omega$ ;  $\eta_{ch}$  为考虑各接地体间相互影响的冲击利用系数,其值可根据表 12.9-12 来选取。

2) 由水平接地极连接的  $n$  根垂直接地极组成的接地装置,其冲击接地电阻可按式计算

$$R_{ch} = \frac{\frac{R_{vp}R'_{ch}}{n}}{\frac{R_{vp}}{n} + R'_{ch}} \frac{1}{\eta_{ch}} \quad (12.9-18)$$

式中， $R_{vp}$ 为每根垂直接地极的冲击接地电阻， $\Omega$ ； $R'_{ch}$ 为水平接地极的冲击接地电阻， $\Omega$ 。

3) 接地极的冲击利用系数。

各种型式接地极的冲击利用系数  $\eta_p$  可根据表 12.9-12 查出。工频利用系数  $\eta \approx \eta_{ch}/0.9 \leq 1$ ，但对于自然接地体， $\eta \approx \eta_{ch}/0.7$ 。

表 12.9-12 各种型式接地极的冲击利用系数  $\eta_{ch}$

接地极型式	接地导体的根数	冲击利用系数 $\eta_{ch}$	备注
N 根水平射线 (每根长 10~80m)	2	0.83~1.0	较小值用于较短的射线
	3	0.75~0.9	
	4~6	0.65~0.8	

续表

接地极型式	接地导体的根数	冲击利用系数 $\eta_{ch}$	备注
以水平接地极连接的垂直接地极	2	0.8~0.85	$\frac{D}{L} = (2 \sim 3) \eta_{ch}$ 为较小值用于 $\frac{D}{L} = 2$ 时 式中， $D$ 为垂直接地极间距； $L$ 为垂直接地极长度
	3	0.70~0.80	
	4	0.70~0.75	
	6	0.65~0.70	
自然接地极	拉线棒与拉线盘之间 铁塔的各基础之间 门型、各种拉线杆塔的各基础之间	0.6	
		0.4~0.5	
		0.7	



## 第10章 高土壤电阻率地区降低接地电阻的措施

### 1 高土壤电阻率地区降低接地电阻的常用措施

所有的接地装置都必须以大地为基体并构成回路，所以接地装置的接地电阻离不开自然土壤电阻率的影响。从第9章的接地电阻计算公式中可看出：接地装置的接地电阻  $R$  与装置所在地区的自然土壤电阻率  $\rho$  成正比。然而，在许多地区，自然土壤的电阻率一般都较大，在接地装置设计与施工中，经常会遇到因土壤电阻率过大而造成的问题。当需要降低接地电阻时，通常采取如下措施：

- 1) 外引接地。
- 2) 井式和深钻式接地极。
- 3) 换土法。
- 4) 敷设水下接地网。
- 5) 降阻剂法。

### 2 外引接地降阻

在电气设备附近有电阻率较低的土壤，可敷设外引接地体，经过公路的外引接地体，埋设深度应不小于 0.8m。

在架空线的塔杆的放射形接地极周围也可采取外引接地的方式，在放射形接地极每根接地极长度的 1.5 倍范围内，如有较低土壤电阻率地带时，可部分采用外引接地。

### 3 井式和深钻式接地极

如果地下较深处土壤的电阻率较低，可采用井式或深钻式接地极。

#### (1) 井式接地极

采用钻机钻孔，把钢管接地极打入井孔中，并将井内和钢管内灌满泥浆，做法如图 12.10-1 (a) 所示。

#### (2) 深钻式接地极

当地下深处的土壤或水的电阻率较低时，可采用深钻式接地极来降低接地电阻，做法如图 12.10-1 (b) 所示。

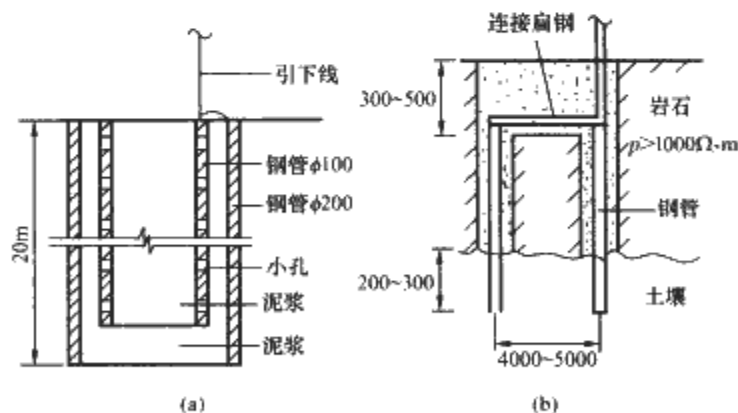


图 12.10-1 井式和深钻式接地极

(a) 井式接地极示意；(b) 深钻式接地极示意

### 4 换土法

在接地体周围 1~4m 的范围内，更换比原来的土壤电阻率更低的土壤，如：黏土、泥炭、黑土、焦炭粉、碎木炭等。这种方式在地下水位高，水分渗入量大的地区使用效果

较好，但在石质地层难以取得满意效果，因为使用这种方法时，土壤电阻率受外界湿度、压力的影响较大。在接地极周围换土的做法如图 12.10-2 所示。

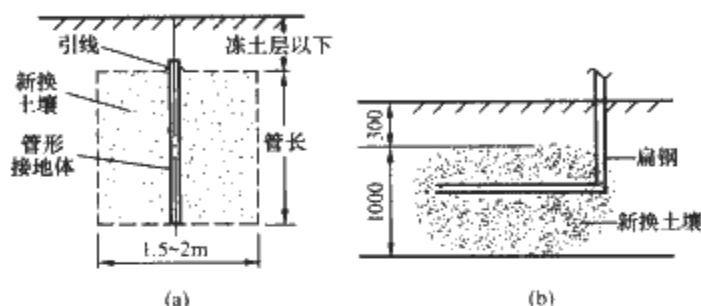


图 12.10-2 接地极换土做法

(a) 垂直接地极换土；(b) 水平接地极换土

### 5 敷设水下接地网降阻

当利用水工建筑物（如水井、水池等）的基础钢筋等自然接地体不能满足接地阻值要求时，可利用河水、池水等良好的导电条件，敷设外引接地极（水下接地网），接地极应敷设在水流速度不大处或静水中，并要回填一些大石块加以固定。

### 6 使用降阻剂降阻

利用一种辅助材料来进行降阻，以改善土壤的导电性能，使接地电阻降低，这种材料就是我们通常所说的降阻剂。降阻剂分成化学降阻剂和物理降阻剂两大类。

#### 6.1 接地降阻剂的基本性能要求

不管是由何种物质组成的接地降阻剂，其基本性能均应满足下列要求：

- 1) 良好的导电性能。降阻剂的电阻率应远小于自然土壤的电阻率，一般要求  $\rho_0 \leq 5\Omega \cdot m$ 。
- 2) 长效的降阻能力。接地工程是地下的隐蔽工程，而且自然土壤的电阻率受环境、季节变化而有变化，因此要求降阻剂的功能应长期有效，使用寿命应大于 30 年。
- 3) 对金属的耐蚀、缓蚀性。降阻剂是金属接地体与自然土壤之间的中间媒介物，除受到地下环境条件影响外，还需要考虑接地体在电流的电化学作用下，降阻剂不但本身应无腐蚀性，而且要对接地体起缓蚀作用，这样才能保证接地体的使用寿命。

4) 能耐受大电流的冲击。接地装置的流散电流在正常运行时是很小的，一般只是毫安量级（这些流散电流往往是由电力系统三相不平衡所引起的）。而当受到雷击或发生相地短路时，会有很大的电流流过接地装置，对于雷电来说，接地电流可达几十千安，因此要求降阻剂在如此大电流冲击下不致炽热、自燃或形成挥发物，而应具有反复通流耐受冲击的性能。

5) 具有一定的负阻特性。所谓负阻特性是指其电阻率  $\rho$  随着散流电流密度的增加而有所降低的特性。即

$\rho_1 = \rho_0 \delta a$

式中， $\rho_1$  为冲击电流下的降阻剂的电阻率； $\rho_0$  为降阻剂的正常电阻率； $\delta$  为冲击电流密度； $a$  为非线性系数，要求  $a < 0$ 。

负阻特性可使降阻剂在冲击电流作用下，使接地装置的电位升高不多，起到了类似于限压电阻阀片的作用。

6) 降阻剂本身应无毒，对环境无污染。要求降阻剂成分中不含任何有毒的元素如铅 (Pb)、汞 (Hg)、镉 (Cd) 等，而且也不应与地中含有的水、氧等生成有害物质，而造成对环境的污染。总之，采用的降阻剂，应对地下水和土壤

无污染，符合环保要求。

6.2 化学降阻剂

化学降阻剂的材料可分为高分子树脂类与无机化合物类两大类，目前使用比较多的是高分子树脂类降阻剂。如：丙烯酰胺降阻剂、脲醛树脂降阻剂等。盐类（如氯化钠、硫酸铜等）可溶解于水，能因降雨和地下水的冲洗而流失，目前已较少采用。

降阻剂可现场配置，也可采用市场出售的成品，表 12.10-1、表 12.10-2 中列出了几种降阻剂的配方。

表 12.10-1 几种无机化合物类降阻剂的配方

降阻剂名称	所用原料的名称、作用及用量						施工方法	电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	对 A3 碳钢腐蚀 速率 ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ )	对环境的污染
	主剂	交链剂	填充剂	电介质	水	固化剂				
石膏降阻剂	半水石膏 0.7kg (固)		聚乙烯醇 0.7kg (固) 高岭土 2.6kg	硫酸钠 1.3kg (固)	13kg (液)	二水石膏 1.3kg (固)	(1) 用水将聚乙烯醇加热溶解；(2) 将其他组合首先混合；(3) 组分混合后倒入洞内	47.7	0.004	对动植物无害
水玻璃降阻剂	水玻璃 5kg (液)		水泥 10kg (固)	食盐 2.5kg (固)	12kg (液)		(1) 用水溶解食盐；(2) 几种组分混合加到电极周围			对动植物无害
炭素粉降阻剂	炭素粉 6kg (固)		生石灰 3kg 水泥 6kg (固)	食盐 3kg (固)	12kg (液)		(1) 用水溶解食盐；(2) 几种组分混合加到电极周围			对动植物无害

表 12.10-2 几种高分子树脂型降阻剂的配方

降阻剂名称	所用原料的名称、作用及用量						施工方法	电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	对 A3 碳钢腐蚀 速率 ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ )	对环境的污染
	主剂	交链剂	填充剂	电介质	水	固化剂				
丙烯酸胺降阻剂	丙烯酸胺 0.91kg (固)	亚甲基双 丙烯酸胺 0.091kg		食盐 3.5kg	18kg (液)	过硫酸胺 0.018kg (固) 三乙醇胺 0.09 kg (液)	(1) 用 1/2 水量溶解食盐；(2) 固体原料分别用少量水溶解；(3) 除固化剂外的其他成分首先混合；(4) 最后倒入固化剂，搅拌后迅速倒入洞内	5.08	0.001	凝固以后的降阻剂对动植物无害
脲醛树脂降阻剂	脲醛树脂 4kg (液)	尿素 0.44kg (液)	聚乙烯醇 0.85kg (液)	食盐 1.8kg (液)	22kg (液)	硫酸氢钠 0.4kg (固)	(1) 用 7kg 水加入聚乙烯醇中加热溶解，提前 1~2 天进行后加入尿素；(2) 用 1/2 水溶解食盐，其余溶解固化剂；(3) 除固化剂外其他成分首先混合；(4) 最后倒入固化剂，搅拌后迅速倒入洞内	1.16	0.1	凝固以后的降阻剂对动植物无害
聚丙烯酰胺降阻剂	聚丙烯酰胺树脂 2.6kg (固)		细黏土 16kg (固)	食盐 3kg (固)	6kg (液)	漂白粉 0.16kg (固)	(1) 用 5kg 水溶解聚丙烯酰胺树脂，溶解后加入食盐溶解；(2) 用其余水溶解固化剂；(3) 将树脂和电解质水溶后与土混合，加入固化剂搅拌后铲入洞中		0.03	凝固以后的降阻剂对动植物无害

续表

降阻剂名称	所用原料的名称、作用及用量						施工方法	电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	对 A3 碳钢腐蚀 速率 ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ )	对环境的污染
	主剂	交链剂	填充剂	电介质	水	固化剂				
木质素降阻剂类型	木质素 2.0kg (固)	重铬酸钠 0.6kg (固)		食盐 1.5kg (固)	16kg (液)	三氯化铁 0.4kg (固)	(1) 用 1/4 水溶解木质素粉末；(2) 用 1/2 水溶解食盐和三氯化铁；(3) 用 1/4 水溶解重铬酸钠；(4) 除重铬酸钠最后加入外，其余成分首先混合，全部搅匀后加入洞中	11.6	0.01	远离饮用水源使用

6.3 物理降阻剂

由于化学降阻剂在降阻时离不开水的“参与”因此其在干旱地区使用时，将大大降低降阻效果；而化学降阻剂在多雨水地区使用时，由于电解质容易随雨水冲刷而流失也会逐渐失去降阻能力，这是化学降阻剂自身难以克服的弱点。为

此造就了一种新型的降阻剂——物理降阻剂。

物理降阻剂是以非电解质的固体粉末为导电材料，并以强碱弱酸为胶凝物，在很大程度上减轻了对金属电极的腐蚀，同时其导电特性不受酸碱盐、温度变化、干湿度变化的影响，在干旱少雨，高寒的地区使用时，更容易满足接地电阻稳定性的要求。表 12.10-3 为两种降阻剂的特性比较。

表 12.10-3 两种降阻剂的特性比较

降阻剂类型	降阻剂机理	水对降阻剂的作用	对金属的腐蚀性	稳定性	适用地区
化学降阻剂	类似于土壤导电机理，即离子导电降阻	除起凝胶作用外，主要使电解质电离出带电的离子，实现降阻效果	有严重的腐蚀性	较差 降阻效果随有无水分而变化	适合有一定降水量的湿润地区
物理降阻剂	固体导电粉末导电降阻	水只起到凝胶作用	几乎无腐蚀性	较好 降阻效果不受有无水分影响	更适合西北干旱高寒地区

从上表中可以看出，物理降阻剂与化学降阻剂比较，有明显的优越性，因此这种新型的降阻剂有逐渐取代化学降阻剂的趋势，对于西北干旱高寒地区更是一种值得推荐的降阻剂。

7 永冻土地地区的降阻措施

在永冻土地地区，除可以采取高电阻率地区的降阻措施外还可采取下列措施：

- 1) 将接地装置敷设在融化地带的水池或水坑里。
- 2) 敷设深钻式接地体。利用井管或其他深埋在地下的金属构件作接地体。
- 3) 在房屋融化盘内敷设接地体。
- 4) 除深埋式接地体外，还应敷设埋深约为 0.6m 的伸长式接地体，以便在夏季地表化冻时起散流作用。
- 5) 在接地体周围人工处理土壤，以降低冻结温度和土壤电阻率。

## 参 考 文 献

- [1] GB 16895.3—1997idt IEC 60364—5—54: 接地配置和保护导体 1980.
- [2] GB 16895.3—2001 idt IEC 60364—4—42: 低压电气装置对暂时过电压和高压系统与地之间的故障的防护 1996.
- [3] GB 14050—1993 系统接地的形式及安全技术要求.
- [4] DL/T 621—1997 交流电气装置的接地.
- [5] JGJ 16—2008 民用建筑电气设计规范.
- [6] GB 50057—1994(2000)建筑物防雷设计规范.
- [7] GBJ 65—1983 工业与民用电力装置的接地设计规范.
- [8] GB 50174—1993 电子计算机房设计规范.
- [9] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册[M]. 第3版. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [10] 水利电力部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1989.
- [11] 李润先. 中压电网系统接地实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [12] 王厚余. 低压电气装置的设计安装和检验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [13] 温步瀛. 电力工程基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [14] 孟祥忠. 现代供电技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [15] 熊信银, 张步涵. 电力系统工程基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003.



## 第13篇 建筑物电磁兼容技术

主 编：陈众励

编写人员：高小平 龚 增 陈杰甫 杨自佑





# 第1章 概述

## 1 电磁场理论与电磁兼容性概述

电磁兼容性 [electromagnetic compatibility (EMC)] 是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作, 且不对该环境中的其他设备和系统构成不能承受的电磁干扰的性能。对于电磁兼容性的评估包括两个方面: 电磁干扰 [electromagnetic interference (EMI)] 和 (电磁) 敏感度 (electromagnetic susceptibility)。

电磁干扰指电磁骚扰引起设备、传输通道或系统性能下降。

(电磁) 敏感度指在有电磁骚扰的情况下, 装置、设备或系统不能避免性能降低的特性。敏感度越高, 抗扰度越低。

### 1.1 静电场

凡是有电荷的地方, 四周都存在着电场, 即任何电荷都在自己周围激发电场; 电场的基本性质是, 它对处于其中的任何其他电荷都有作用力, 这种作用力称作电场力。

电场强度被定义为

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (13.1-1)$$

电场强度是一个矢量, 其大小等于单位电荷在该处所受电场力的大小, 其方向与正电荷在该处所受电场力的方向一致。

电场强度是一种矢量, 故服从矢量叠加原理, 即

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \quad (13.1-2)$$

两种介质间的分界面上电通密度  $D$  的法向矢量连续, 而电场强度  $E$  的切向矢量连续。即

$$\begin{aligned} D_{1n} &= D_{2n} \\ E_{1r} &= E_{2r} \\ D &= \epsilon E \end{aligned} \quad (13.1-3)$$

静电场的边值问题的唯一性定理表明, 边界条件可将空间里电场的恒定分布唯一地确定下来。

静电屏蔽现象是指在静电平衡状态下, 腔内无其他带电导体的导体壳和实心体一样, 内部没有电场。这样, 导体壳的表面就保护了它所包围的区域, 使之不受导体壳外表面上的电荷或外界电场的影响。静电屏蔽现象可以从唯一性定理中得到解释。

### 1.2 静磁场

电流产生磁场, 不随时间变化的电流, 即直流电流产生的就是静磁场。

磁场中某点小磁针  $N$  极指向就是该点磁感应强度  $B$  的方向。

磁场内某一点放一小段长度为  $\Delta l$ 、电流为  $I$  与磁场方向垂直的导体, 若导体所受的力为  $\Delta F$ , 则磁感应强度大小被定义为

$$B = \frac{\Delta F}{I \Delta l} \quad (13.1-4)$$

磁场强度  $H$  的定义: 在任何磁介质中, 磁场中某点的磁感应强度  $B$  与该点处的磁导率  $\mu$  的比值为该点的磁场强度, 即

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (13.1-5)$$

### 1.3 电磁场

电磁现象是一个不可分割的统一体。宏观电磁场遵守经典的麦克斯韦方程。基本的麦克斯韦方程是与时间相关的电磁场量所满足的方程, 是麦克斯韦方程的瞬时形式, 积分形式如下

$$\begin{aligned} \oint_l H \cdot dl &= \iint_S (J + \frac{\partial D}{\partial t}) \cdot dS \\ \oint_l E \cdot dl &= - \iint_S (\frac{\partial B}{\partial t}) \cdot dS \\ \oiint_S D \cdot dS &= \iiint_V \rho dV \\ \oiint_S B \cdot dS &= 0 \end{aligned} \quad (13.1-6)$$

式中,  $E$  为电场强度,  $V/m$ ;  $H$  为磁场强度,  $A/m$ ;  $D$  为电位移矢量或电通密度,  $C/m^2$ ;  $J$  为电流密度,  $A/m^2$ ;  $\rho$  为电荷密度,  $A/m^3$ 。

当电磁场  $\omega = 0$  ●, 即  $\frac{\partial D}{\partial t} = 0, \frac{\partial B}{\partial t} = 0$  的极限情况下,

麦克斯韦方程中的电场强度  $E$  和磁场强度  $H$  去耦, 一组方程描述的是静电场的特性, 其源是静电荷。另一组方程描述的是静磁场的特性, 其源是恒稳电流。

洛伦兹力: 带有电量  $q$ , 运动速度为  $v$  的质点, 在电磁场中受到的力为洛伦兹力方程多描述, 即

$$F = q(E + v \times B) \quad (13.1-7)$$

坡印廷定理: 对于时谐电磁场, 通过单位面积的功率流由复矢量  $S$  定义, 即

$$S = E \times H \quad (13.1-8)$$

这就是复数坡印廷矢量, 而  $E \times H$  叫做坡印廷矢量。

电磁波谱: 麦克斯韦方程组对电磁波的频率没有限制。已知的电磁波谱从特长无线电波的几百赫兹延续到宇宙辐射的极高能  $\gamma$  射线的  $10^{24}$  Hz 量级, 如图 13.1-1 所示。电磁波谱是一种有限的资源。在短短的 100 年的时间里, 人们已对各无线电频段开发了成功的应用。

### 1.4 电磁兼容

#### 1.4.1 概念

电磁兼容是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作, 且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

● 也就是电磁场的角频率为零。

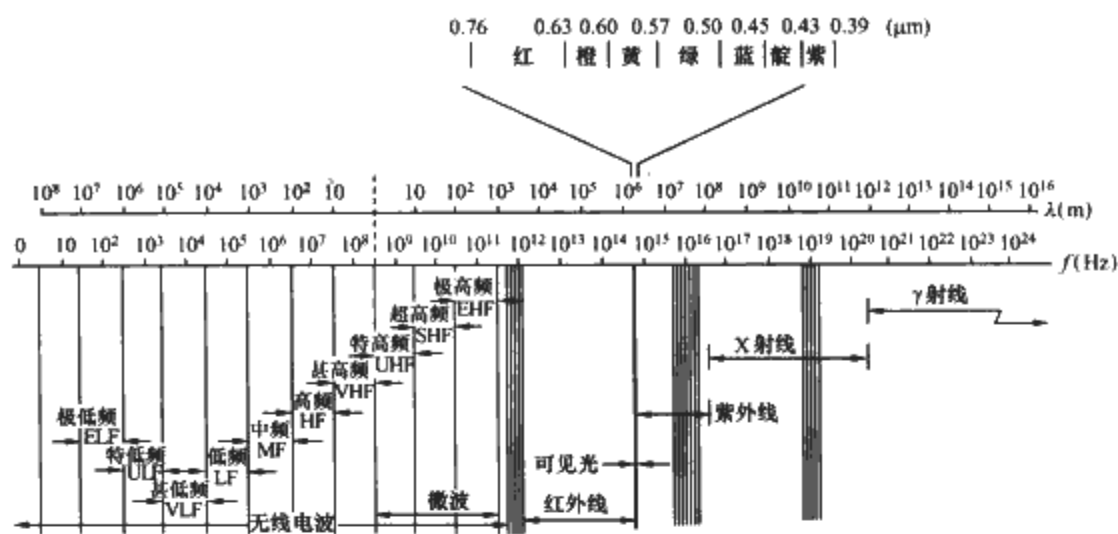


图 13.1-1 电磁波谱

#### 1.4.2 电磁兼容的三要素

- 1) 电磁兼容通常需要指明某个特定的空间,如同一个房间、同一机柜。
- 2) 电磁兼容必须同时存在骚扰的发射体和感受体。
- 3) 电磁骚扰通过一定媒体(耦合途径)将发射体和感受体结合在一起。这个媒体可以是空间,也可以是公共电网或公共阻抗。

#### 1.4.3 电磁兼容的限值间关联

在一个特定的空间内,如何使系统内和系统之间骚扰源的发射水平与感受体的抗扰性水平实现最佳配合,这就是系统电磁兼容性设计的关键所在。为将电磁兼容各种变量之间的关联有个明确的概念,用如图 13.1-2 所示的方式表示。从图中可以看出,系统设计任务就是选择合理的兼容性水平,并寻求足够的兼容性裕量。

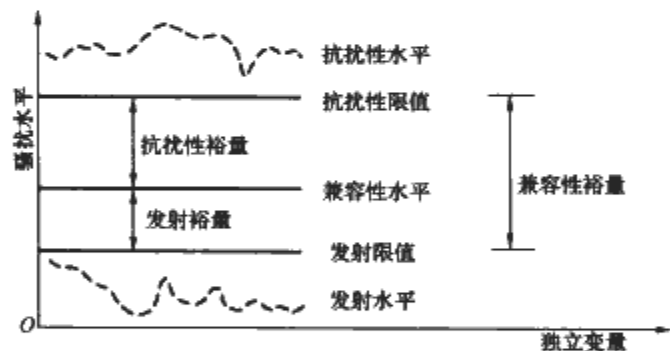


图 13.1-2 电磁兼容各限制间关联

#### 1.4.4 电磁骚扰源分类

向外发射电磁骚扰的源称为电磁骚扰源,大致可分为自然骚扰源和人为骚扰源。

##### (1) 自然骚扰源

1) 闪电。由闪电引起的冲击电流可高达 10 万 A,上升时间仅几微秒。此冲击电流波会在系统中感应出高达 100~200kV 浪涌电压(骚扰)。与雷伴生的雷电云,其电场强度高达几十千伏每米,在导体端部可引发静电放电,造成大气电磁噪声(骚扰)。

2) 太阳与宇宙射线。因太阳磁暴造成电离层变动,引起电波传播衰落起伏,影响短波和超短波通信。宇宙射线的带电粒子流会在短波、超短波频段引起通信骚扰。

##### (2) 人为骚扰源

1) 静电放电。人为静电放电的放电脉冲电压高达数千伏,对人身和设备都会造成骚扰及损害,也引起油罐爆炸、集成电路失效。

2) 核电磁脉冲。由核爆炸引起的电磁脉冲同时释放出 X 射线和伽玛射线。此核电磁脉冲上升时间约为 10ns (纳

秒),持续时间约为 600ns,其场强高达 50kV/m,足以对系统的电子设备构成破坏。

##### (3) 电气、电子系统电磁骚扰源

此类骚扰源是日常生活中遇到最多的骚扰源。

1) 点火系统骚扰。点火系统火花放电的电磁骚扰,其频率主要集中于电视频段和超短波通信频段。

2) 高压电力线的骚扰。来自超高压输电线路及绝缘子表面放电,其频率主要分布在中、短波频段,通常在 30MHz 以下频段为主。

3) 工业、科研、医疗高频设备。包括感应加热、高频介质加热、微波加热、高频焊接设备、高频医疗器械等,是城市中重要的骚扰源。其频谱分布十分宽广,从低频(谐波)、高频直至超高频、微波频段都存在。

4) 数字电路装置。包括计算机、程控交换机、工业程序控制器、电子仪器等,由于电子电路的开关过程,引起快速脉冲电流变化。其频谱从数十赫兹到数百赫兹内均存在。

5) 高频振荡电路。包括发射机、接收机及时钟本振频率等基频及其谐波。其发射频率从几十千赫兹到几百千赫兹。

6) 电网开关操作过程及晶闸管导通过程。开关过程形成强烈的电流脉冲,在电网线路上形成严重骚扰。其频谱主要在中波、短波、超短波频段。

7) 用电器骚扰(包括微电机、控制器、定时器)。电机换向器换向过程及定时器的开关动作均会对电网形成骚扰源。其骚扰频谱从几十千赫兹到数百兆赫兹均可获得。

8) 电网电压波动。由供电电网电压的暂时跌落以至中断,或者大容量负荷的突然投切,各相电压间的瞬变不平衡都将导致电压波形畸变,伴随高次谐波产生。传导骚扰频率虽然较低,从几百赫兹到几十千赫兹,但能量巨大,可对与电网相连的电子电器设备产生骚扰或引起误动作。

#### 1.4.5 电磁骚扰传播途径

电磁骚扰大致有以下三个传播途径:

##### (1) 辐射途径

骚扰源如果不是处于一个全封闭的金属外壳内,他就可以通过空间向外辐射电磁波,其辐射场强取决于装置的骚扰电流强度、装置的等效辐射阻抗,以及骚扰源的发射频率。如果骚扰源的金属外壳带有缝隙与孔洞,则辐射的强度与骚扰波长有关。当孔洞的大小与波长可比拟时,则可形成骚扰子辐射源向四周辐射。另外,辐射场中的金属物体还可形成二次辐射。

##### (2) 传导途径

骚扰源可通过与其相连的导线向外部发射,也可通过公

共阻抗耦合,或接地回路耦合,将骚扰带入其他电路。此种传导发射是骚扰传播的主要途径。

### (3) 感应耦合途径

感应耦合途径是介于辐射途径与传导途径之间的第三条途径。当骚扰源的频率较低时,骚扰电磁波的辐射能力相当有限。同时骚扰源又不直接与其他导体连接,此时电磁骚扰能量可通过与其相邻的导体产生感应耦合,将电磁能转移到其他导体上去,在邻近导体内感应出骚扰电流或电压。感应耦合可以以导体间的电容耦合的形式出现,也可以以电感耦合的形式或电容、电感混合耦合的形式出现。

## 2 辐射骚扰及危害

辐射骚扰(radiated disturbance)是指以电磁波的形式通过空间传播能量的电磁骚扰。有时也包括感应现象产生的骚扰。

电磁骚扰(electromagnetic disturbance)是指任何可能引起装置、设备或系统性能降低或者对生物或非生物产生不良影响的电磁现象。电磁骚扰可能是电磁噪声、无用信号或传播媒介自身的变化。

从人体生理学来说,人体细胞在受到刺激兴奋时,会在细胞膜静息电位基础上发生快速电波动或可逆翻转,其频率如果与谐波频率相接近,电网谐波的电磁辐射就会直接影响人的脑磁场与心磁场。

## 3 传导骚扰及危害

### 3.1 传导骚扰及相关概念

传导骚扰(conducted disturbance)是指通过一个或多个导体传递能量的电磁骚扰。在 EMC 的测量中,传导骚扰一般指在电源线与(参考)地之间,以及电源线之间存在的射频骚扰,即配电网中的骚扰。其表现形式有:谐波、间谐波、载波干扰;电压扰动;电压跌落和中断;电压不对称;工频偏差;感应低频电压;交流电网中的直流分量;单方向瞬变;振荡性瞬变。

以下列举传导骚扰的几个物理计算模型:

1) 一对平行裸线的互感交连,如图 13.1-3 所示。

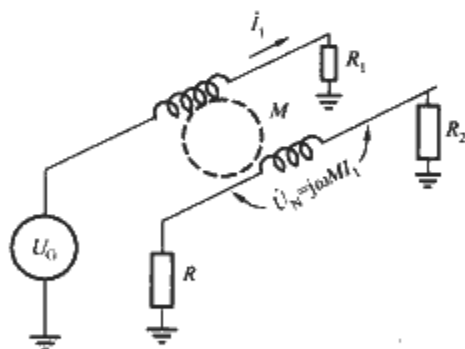


图 13.1-3 一对平行裸线之间的互感交连

2) 一根裸线与一根屏蔽线间的互感交连,如图 13.1-4 所示。

3) 一对裸线间的寄生电容交连,如图 13.1-5 所示。

4) 一根裸线与一根接地屏蔽线间的寄生电容交连,如图 13.1-6 所示。

在建筑电气设计中,主要关注对象是谐波问题。谐波问题涉及以下基本概念:

基波(分量)(fundamental component)指一个周期量的傅里叶级数的一次分量。

谐波(分量)(harmonic component)指一个周期量的

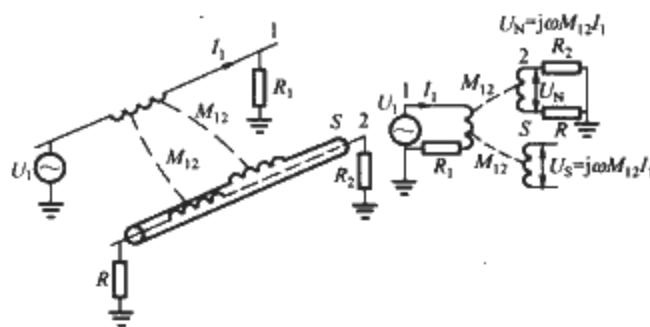


图 13.1-4 一根裸线与一根屏蔽线间的互感交连

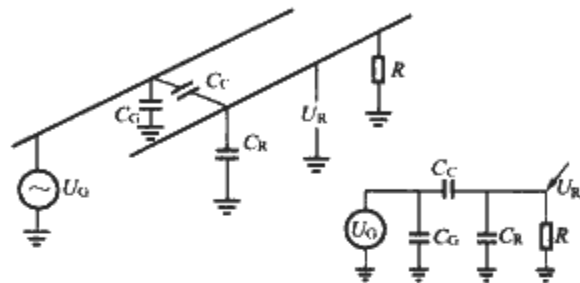


图 13.1-5 一对裸线间的寄生电容交连

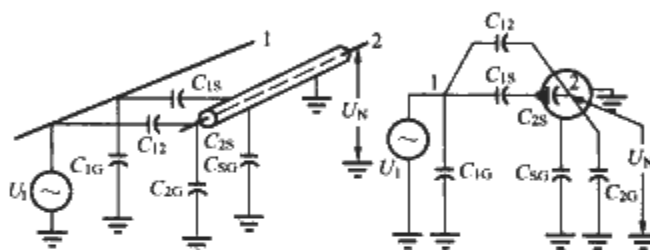


图 13.1-6 一根裸线与一根接地屏蔽线间的寄生电容交连

傅里叶级数中次数高于 1 的分量。

谐波次数(harmonic number)指谐波频率与基波频率的整数比。第  $n$  次谐波比指第  $n$  次谐波方均根值与基波方均根值之比。

谐波含量(harmonic content)指从一个交变量中减去其基波分量后得到的量。

基波系数(fundamental factor)指基波分量与其所属交流变量的方均根之比。

在供电系统中,通常总是希望交流电压和交流电流呈正弦波形,正弦电压可表示为

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \alpha) \quad (13.1-9)$$

式中,  $U$  为电压有效值;  $\alpha$  为初相角;  $\omega$  为角频率,  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ ;  $f$  为频率;  $T$  为周期。

正弦电压施加在线性无源元件电阻、电感和电容上,其电流和电压分别为比例、积分和微分关系,仍为同频率的正弦波。但当正弦电压施加在非线性电路上时,电流就变成非正弦波,非正弦电流在电网阻抗上产生压降,会使电压波形也变为非正弦波。当然,非正弦电压施加在线性电路上时,电流也是非正弦波。对于周期  $T = 2\pi/\omega$  的非正弦电压  $u(\omega t)$ ,一般满足狄里赫利条件,可分解为如下形式的傅里叶级数

$$u(\omega t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (13.1-10)$$

式中

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\omega t) d(\omega t) \\ a_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(\omega t) \cos n\omega t d(\omega t) \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(\omega t) \sin n\omega t d(\omega t) \end{aligned}$$

$$(n = 1, 2, 3, \dots)$$

或

$$u(\omega t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (13.1-11)$$

式中,  $c_n$ 、 $\varphi_n$  和  $a_n$ 、 $b_n$  的关系为

$$\begin{aligned} c_n &= \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \\ \varphi_n &= \arctan(a_n/b_n) \\ a_n &= c_n \sin \varphi_n \\ b_n &= c_n \cos \varphi_n \end{aligned}$$

在式 (13.1-10) 或式 (13.1-11) 的傅里叶级数中, 频率为  $1/T$  的分量称为基波, 频率为大于 1 整数倍基波频率的分量称为谐波, 谐波次数为谐波频率和基波频率的整数比。以上公式及定义均以非正弦电压为例, 对于非正弦电流的情况也完全适用, 把式中  $u(\omega t)$  转成  $i(\omega t)$  即可。

$n$  次谐波电压含有率以  $\text{HRU}_n$  (Harmonic Ratio  $U_n$ ) 表示, 即

$$\text{HRU}_n = \frac{U_n}{U_1} \times 100\% \quad (13.1-12)$$

式中,  $U_n$  为第  $n$  次谐波电压有效值 (方均根值), V;  $U_1$  为基波电压有效值, V。

$n$  次谐波电流含有率以  $\text{HRI}_n$  表示, 即

$$\text{HRI}_n = \frac{I_n}{I_1} \times 100\% \quad (13.1-13)$$

式中,  $I_n$  为第  $n$  次谐波电压有效值 (方均根值), A;  $I_1$  为基波电压有效值, A。

谐波电压含量  $U_H$  和谐波电流含量  $I_H$  分别定义为

$$U_H = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2} \quad (13.1-14)$$

$$I_H = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \quad (13.1-15)$$

电压谐波总畸变率  $\text{THD}_u$  (total harmonic distortion) 和电流谐波总畸变率  $\text{THD}_i$  分别定义为

$$\text{THD}_u = \frac{U_H}{U_1} \times 100\% \quad (13.1-16)$$

$$\text{THD}_i = \frac{I_H}{I_1} \times 100\% \quad (13.1-17)$$

可以看出, 谐波是一个周期电气量中频率为大于 1 整数倍基波频率的正弦波分量。

电气系统中的谐波有以下几种危害。

## 3.2 谐振

在配电网中同时使用容性和感性设备分别在阻抗特别大或特别小的情况时, 会导致串联或并联谐振。阻抗的变化将改变电网的电流和电压。

## 3.3 损耗增大

### 3.3.1 电路中的损耗

对于一个给定了基波电流的负荷, 电流有效值  $I_{\text{rms}}$  增加。不考虑集肤效应, 热损增加。谐波电流在它们通过的所有导体中都会引起热损增加, 在变压器、设备、电缆等中引起附加温度升高。

### 3.3.2 异步电动机中的损耗

为异步电动机供电的谐波电压会在转子中产生频率高于 50Hz 的电流, 这将导致附加损耗。例如: 一个实际矩形波供电电压会增加 20% 的损耗。一个供电电压带有谐波  $U_5 = 8\%U_1$  ( $U_1$  为基波电压),  $U_7 = 5\%U_1$ ,  $U_{11} = 3\%U_1$ ,

$U_{13} = 1\%U_1$ , 即: 总谐波畸变  $\text{THD}_u = 10\%$ , 造成 6% 的附加损耗。

### 3.3.3 变压器中的损耗

因为焦耳效应和涡流, 变压器中的谐波电流会引起铜损增加。由于磁滞, 谐波电压会引起铁损。一般认为, 绕组中的损耗与  $\text{THD}_i$  的二次方成正比, 铁损与  $\text{THD}_u$  是线性关系。对供电网络变压器, 由于畸变率的限制, 这种损耗的增加在 10%~15%。

### 3.3.4 电容器中的损耗

作用于电容器的谐波电压产生的谐波电流与谐波频率成正比。该电流会引起附加损耗。例如, 基波电压为  $U_1$ , 谐波电压  $U_5 = 8\%U_1$  ( $U_1$  为基波电压),  $U_7 = 5\%U_1$ ,  $U_{11} = 3\%U_1$ ,  $U_{13} = 1\%U_1$ , 即: 总谐波畸变  $\text{THD}_u = 10\%$ 。电流的安培数是原来的 1.19 倍, 热损是原来的 1.19<sup>2</sup> 倍, 即 1.4 倍。

## 3.4 设备过载

### 3.4.1 发电机

因为谐波电流会引起附加损耗, 所以为非线性负荷供电的发电机一定会降低输出能力。当非线性负荷占负荷的 30% 时, 输出能力降低大约为发电机的 10%。因此需要增大发电机的容量。

### 3.4.2 不间断电源系统 UPS

计算机系统产生的电流有很高的尖峰因数。只考虑电流有效值计算 UPS 的容量可能不能满足尖峰电流的需要, 并可能导致过载。

### 3.4.3 变压器

为电子负荷供电的变压器, 根据所带负荷引起的谐波电流畸变率, 若采用常规变压器, 需要降容使用。

### 3.4.4 电容器

根据标准, 电容器中的电流有效值不能超过额定电流的 1.3 倍。由于谐波电流存在, 需要调整电容器的大小。

### 3.4.5 中性线

由于三相谐波电流叠加矢量和不为零, 增加了中性线电流有效值, 为保障正常供电, 需要增加中性线截面。

## 3.5 对敏感负荷的干扰

电源电压的畸变会干扰下列敏感设备的工作: 调节装置; 计算机硬件; 监控装置 (保护继电器); 电话信号。

## 3.6 经济影响

经济影响包括: 电能损耗; 签约费用增加; 设备扩容; 减少设备的使用寿命; 误跳闸和电气系统停电。

## 4 静电及危害

静电放电是一种人为的骚扰源, 通过直接传导、电容耦合和电感耦合三种方式进入电子线路。由于屏蔽电磁场使用的导电性材料同样具有泄漏静电和吸收静电信号的效果, 因此在防静电环境设计中应提高使用有屏蔽效能的材料比重, 包括六面体装饰和窗帘、壁柜等的内装材料。由于屏蔽系统各部位之间的可靠连接对屏蔽效能有直接影响, 因此在防静电工程施工中必须保证结合部位的可靠电气连接。

由于静电放电通过三种方式进入电子线路, 因此对静电放电的防护就是要阻止静电放电的传导和耦合。

由于静电场的特点是电荷都集中在导体的外表面, 导体内部场强为零。因此当导体是个金属网, 并将这个金属网接

地时,金属网外表的电荷被中和,而置于金属网内部的设备即可免遭外界电场的干扰而受到等电位保护,这就是静电屏蔽原理。在防静电环境设计中利用这个原理,可对环境中的电子设备和设施进行静电放电的屏蔽保护。由于金属屏蔽网同时具有对电磁波的吸收、反射作用,因此还具有电磁衰减的屏蔽效能,如钢筋屏蔽网的屏蔽效能一般为20~25dB,但是静电屏蔽作用不能完全代替电磁屏蔽。

静电是无处不在的物理现象,在普通的生产和工作环境中存在着广泛的静电发生源。用绝缘材料装饰的环境六面体,用绝缘材料制作的工作台和各类工、器具相互摩擦、碰撞、剥离时就会产生静电。环境中人的活动是最主要的静电源,可以说人是“搬运”静电的载体。环境中的空气调节系统和空气净化设施,当风管、干燥空气和过滤介质相对运动时,都会产生静电,都是静电发生源。此外,供电传输线路以及电工、电子设备发射的电磁骚扰,会引发电磁感应干扰等。

静电放电和静电电场感应会导致电子器件、电子设备和设施损伤或性能下降,会导致人体遭受电击伤害,会导致易燃、易爆场所引燃引爆,还会导致尘埃的吸附而影响环境净化。因此对于电子器件、仪器和设备的制造和应用场所,对于易燃、易爆和环境洁净的生产场所都必须有一个防止静电危害的环境<sup>●</sup>。

## 5 电能质量

国内外对电能质量确切定义至今尚没有形成统一的共识。但大多数人认为,电能质量的定义应理解为:导致用户电力设备不能正常工作的电压、电流或频率偏差,造成用电设备故障或者误动作的任何电力问题都是电能质量问题。

IEC(1000—2—2/4)标准将电能质量定义为:供电装置正常工作情况下不中断和干扰用户使用电力的物理特性。

IEEE协调委员会对电能质量的技术定义为:合格的电能质量是指给敏感设备提供的电力和设置的接地系统均是适合该设备正常工作的。

不论如何表达,电能质量的概念中应包含电能供应过程中所要考虑的一切方面。

衡量电能质量的指标除了包括额定电压、额定电流、额定频率和正弦波形外,还包括所有电压瞬变现象,如冲击脉冲、电压下跌、瞬时间断等。上述定义概括了电能质量问题的成因和后果,当然其中的偏差应作广义的理解,它还包括供电可靠性。

目前,电能质量的主要内容有以下方面:

- 1) 电流系统频率。
- 2) 供电电压允许偏差,指的是电力系统各处的电压允许偏离其额定值的百分比。
- 3) 电压合格率:电压合格率(%) =  $(1 - \text{电压超限时间} / \text{电压监测总时间}) \times 100\%$ 。
- 4) 三相不平衡度。三相不平衡度是指三相系统中三相不平衡程度,用电压或电流负序分量与正序分量的均方根百分比表示。三相电压不平衡(即存在负序分量)会引起继电保护误动、电机附加振动力矩和发热。
- 5) 电压波动和闪变。电压波动和闪变是指电压幅值在一定范围内有规则变动时,电压变动或工频电压包络线的周期性变化,或电压幅度不超过0.9~1.1p.u.的一系列随机变化;电压波动值为电压方均跟最大值和最小值之差相对额定电压的百分比。

6) 电压谐波。

7) 间谐波。

8) 暂时过电压和瞬态过电压。暂时过电压是指在电网定点上持续时间较长的不衰减和弱衰减的振荡过电压。瞬态过电压是指持续时间数毫秒或更短、通常带有强阻尼的振荡或非振荡的过电压,它可以叠加于暂时过电压上。暂时过电压和瞬态过电压是由于电力系统运行操作、受雷击、发生故障等原因引起的。

9) 电压暂降和电压上升。电压暂降(电压跌落)是指由于系统故障或干扰造成用户电压下降到额定电压的10%~90%(即幅值的0.1~0.9p.u.),并持续0.5周波~1min,此期间内系统频率仍为标称值,然后又恢复到正常水平的现象。电压上升是指电压的有效值升至额定值的110%以上,系统频率仍为标称值,持续时间为0.5周波~1min,典型值为额定值的110%~180%,即幅值的1.1~1.9p.u.。

10) 断电和电压中断。断电是指由于供电系统发生故障,造成用户在一定时间内一相或多相失去电压(低于0.1p.u.)。断电按持续时间分为三类:0.5~3s称为瞬态断电;3~60s称为暂时断电;大于60s称为持续断电。电压中断是指断电的持续时间大于3min。

11) 电压瞬变。电压瞬变又称为瞬时脉冲,是指在一定时间间隔内,两个连续稳态电压之间在极短时间内发生的一种突变现象或数量变化。

12) 过电压和欠电压。过电压是指电压幅值高于额定电压,且持续时间大于1min。过电压的幅值范围为1.1~1.2(p.u.)。欠电压是指电压幅值低于额定电压,且持续时间大于1min。欠电压的幅值范围为0.1~0.9p.u.。

13) 交流电网中的直流分量。

14) 载波电压信号。

15) 电压切痕。电压切痕(也称电压缺口)是指一种持续时间小于0.5周波的周期性电压波动。电压切痕主要是由于电力电子装置在发生相间短路时,电流从一相转换到另一相而产生的。

16) 稳态电压扰动。稳态电压扰动是指以电源电压波形畸变为特征而引起的各种稳态电能质量问题。包括谐波、陷波、电压闪变、三相不对称。

17) 暂态(瞬态)电压扰动。暂态(瞬态)电压扰动是指电源电压的正弦波形受到暂态(瞬态)电压扰动发生畸变而引起电能质量污染的各种问题。

18) 动态电能质量问题等。

## 6 电磁屏蔽

所谓电磁屏蔽(electromagnetic screen),是指用导电材料减少交变电磁场向指定区域穿透的屏蔽。其方法是在两个空间区域之间加以金属的隔离,以控制从一个区域向另一个区域的电场、磁场或电磁场的传播。屏蔽有两个目的:第一,为了防止设备的电子电路或部分电子电路的辐射发射到产品外面,这里的动机是既要避免设备不符合辐射发射的限值,又要防止该设备对其他电子设备的干扰;第二,为了防止设备内部的辐射发射耦合到设备内部的电子电路中,导致设备内的干扰。

### 6.1 屏蔽原理

屏蔽作用原理可以用两种方法来分析:一种为普通的电

● 引自上海市工程建设规范《防静电工程设计规程》。



路理论, 另一种为场论。

1) 传输线理论。将屏蔽体设想为传输线, 当电磁波入射到金属壳体时, 将产生两种损耗: 入射波的一部分从表面反射回来, 产生反射损耗; 另一部分电磁波在金属壳体内传播, 并被衰减吸收, 产生吸收损耗, 并在另一表面内又产生反射损耗。这一理论分析与行波在传输线上传播的原理分析类似。这种分析方法便于计算, 精度也高, 因而被广泛采用。

2) 感应涡流效应。当高频电场穿过金属板时, 就在金属板中产生感应电动势, 从而形成涡流。金属板中的涡流电流又产生反向磁场来抵消穿过金属板的电磁场, 从而削弱原磁场而达到屏蔽的作用。

## 6.2 屏蔽效能的定义与表达式

1) 屏蔽效能的定义。屏蔽效能是指屏蔽前某点的场强与屏蔽后该点场强之比。

2) 工程上屏蔽效能的表达式为

$$SE_E = 20 \lg \left| \frac{E_0}{E_s} \right|; \quad SE_H = 20 \lg \left| \frac{H_0}{H_s} \right|$$

式中,  $E_0$ 、 $H_0$  为屏蔽前某点的电场强度与磁场强度;  $E_s$ 、 $H_s$  为屏蔽后某点的电场强度与磁场强度。

屏蔽效能近似解计算公式如下:

屏蔽效能  $S$  = 反射损耗  $R$  + 吸收损耗  $A$  + 多重反射损耗  $B$ , 即

$$S = R + A + B$$

以下分几种情况来讨论屏蔽效能  $S$  的计算公式。

1) 在远场 ( $r > \frac{\lambda}{2\pi}$ ) 平面波垂直入射条件下。

① 反射损耗

$$R = 168 - 10 \lg(\mu_r f / \sigma_r) \quad (13.1-18)$$

式中,  $R$  为反射损耗, dB;  $\sigma_r$  为屏蔽材料相对于铜的电导率 ( $\Omega \cdot m$ )<sup>-1</sup>;  $\mu_r$  为屏蔽材料相对于铜的磁导率, H/m;  $f$  为入射电磁波的频率, Hz; 铜的  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m; 铜的  $\sigma_0 = 5.82 \times 10^7$  ( $\Omega \cdot m$ )<sup>-1</sup>。

上式说明, 导体的屏蔽阻抗越低, 反射损耗越大; 为减小屏蔽阻抗, 可采用高电导率和低磁导率的材料。

② 吸收损耗

$$A = 3.34t \sqrt{f\mu_r\sigma_r} \quad (13.1-19)$$

式中,  $t$  为屏蔽壳体厚度, in, 1in=2.54cm;  $f$ 、 $\mu_r$ 、 $\sigma_r$  含义同上。

上式说明, 材料越厚, 频率越高, 则吸收损耗越大。

③ 多重反射损耗  $B \approx 0$ 。

反射损耗是比值  $\sigma_r/\mu_r$  的函数, 而吸收损耗是乘积  $\sigma_r\mu_r$  的函数。表 13.1-1 列出了不同材料的这些参数。

表 13.1-1 不同材料的反射损耗和吸收损耗

材 料	$\sigma_r$	$\mu_r$	$\mu_r\sigma_r$	$\sigma_r/\mu_r$
银	1.05	1	1.05	1.05
铜	1	1	1	1
金	0.7	1	0.7	0.7
铝	0.61	1	0.61	0.61
黄铜	0.26	1	0.26	0.26
青铜	0.18	1	0.18	0.18
锡	0.15	1	0.15	0.15
铅	0.08	1	0.08	0.08
镍	0.2	100	20	$2 \times 10^{-3}$
不锈钢 (430)	0.02	500	10	$4 \times 10^{-5}$
钢 (SAE 1045)	0.1	1000	100	$1 \times 10^{-4}$
μ 金属 (1kHz)	0.03	20 000	600	$1.5 \times 10^{-6}$
超导合金 (1kHz)	0.03	100 000	3000	$3 \times 10^{-7}$

图 13.1-7 表示出 20in 厚的铜作为频率函数在 10Hz~10MHz 的屏蔽效能, 可以观察到在 2MHz 以上主要是吸收损耗。

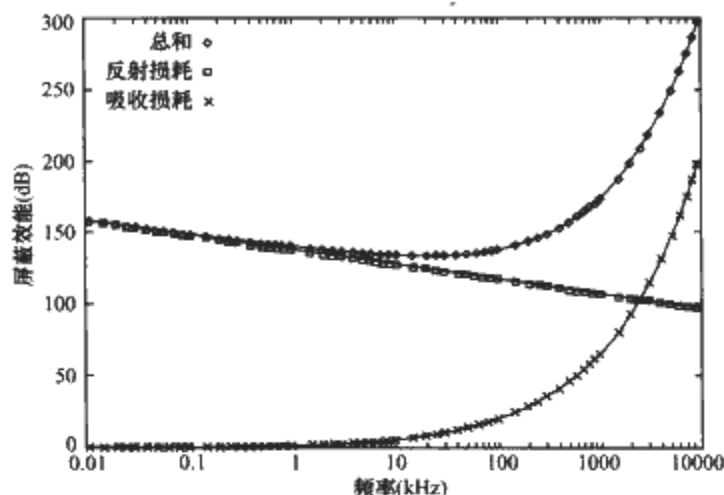


图 13.1-7 20in 铜的屏蔽效能

图 13.1-8 给出了 20in 钢 (SAE1 045) 在 10Hz~10MHz 的屏蔽效能。可以注意到, 这种材料仅在 20kHz 以下主要是反射损耗。

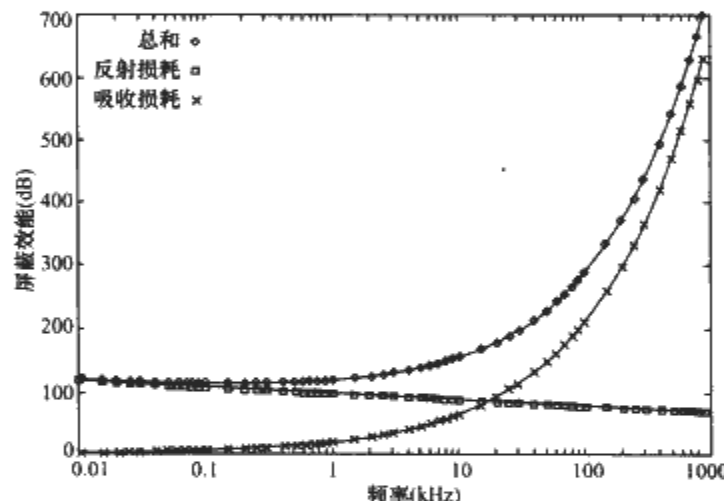


图 13.1-8 20in 钢的屏蔽效能

这些数据表明, 无论是铁磁性材料还是非铁磁性反射损耗, 对低频时的屏蔽效能起了主要的贡献作用。频率越高, 铁磁性材料的吸收损耗越大, 屏蔽效能就越高。值得重申的是, 电场的透射主要发生在第二边界, 而磁场的透射主要发生在第一边界, 所以吸收损耗对于磁场的衰减更重要。

2) 在近场 ( $r \leq \frac{\lambda}{2\pi}$ ) 条件下。

① 对电场的屏蔽。对远场源屏蔽的基本原理对近场源也普遍适用, 但是近场源的类型是决定有效屏蔽方法的关键。铜材料的屏蔽对电场源的反射损耗与距离源的不同距离之间的关系如图 13.1-9 所示。从图中可以看出, 近场电场源的反射损耗远远大于均匀平面波的反射损耗, 它随着源和屏蔽体之间距离的减小而增大。

计算方法如下:

- 反射损耗  $R$ : 计算公式同式 (13.1-18)。
- 吸收损耗  $A$ : 计算公式同式 (13.1-19)。
- 多重反射损耗:  $B \approx 0$ 。

② 对磁场的屏蔽。近场电场源的情况在很大程度上与均匀平面波的情况相同, 低频时反射损耗是主要的, 而高频时吸收损耗是主要的。对于近磁场源在低频时的情况非常不同, 对近场磁场源, 吸收损耗在所有频率下都是屏蔽的主要机理。然而, 低频时近场磁场源的反射损耗和吸收损耗都很

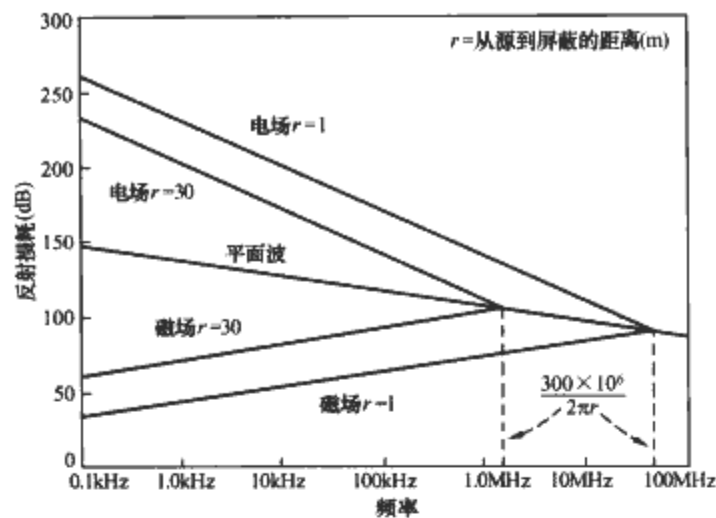


图 13.1-9 电场源和磁场源的近场反射损耗

小，所以必须采用其他有效的方法屏蔽低频磁场源。

有两种基本的屏蔽低频磁场的方法：使用高磁导率材料分流磁通量，或者依据法拉第定律产生反向的磁通——通常称为“短线圈法”。这两种方法有很多应用实例，代表大多数能有效减小低频磁场效应的屏蔽情况。但是两个因素会使分流法效能降低：第一，铁磁性材料的磁导率随频率的升高而降低；第二，铁磁性材料的磁导率随磁场强度的增加而降低。图 13.1-10 给出了不同的铁磁性材料对频率的依赖性。

计算方法如下：

a. 反射损耗  $R$ ：

当距离  $R$  未知时，可假定  $R \approx 0$ 。

当距离  $R$  已知时

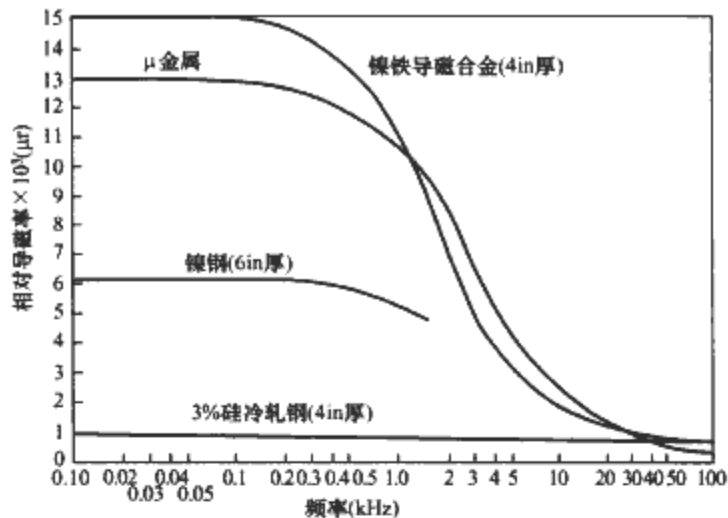


图 13.1-10 不同的铁磁性材料对频率的依赖性

$$R = 14.6 + 10\lg\left(\frac{fr^2\sigma_r}{\mu_r}\right) \quad (13.1-20)$$

式中， $R$  为  $\mu$  源到屏蔽体的距离，m；若在计算  $R$  时得出为负值，可认为  $R \approx 0$ ； $B \approx 0$ 。

b. 吸收损耗  $A$ ：计算公式同式 (13.1-19)。

c. 多重反射修正系数  $B$ ：当吸收损耗  $A \geq 10\text{dB}$  时，可认为  $B \approx 0$ ；当吸收损耗  $A < 10\text{dB}$  时

$$B = 20\lg(1 - e^{-\frac{2A}{10}}) \quad (13.1-21)$$

式中， $e$  为自然底数， $e = 2.71828183$ ； $t$  为屏蔽壳体厚度，in (1in = 2.54cm)。

## 第 2 章 供配电系统谐波防治技术

### 1 谐波的产生

在一个理想的清洁电力系统，电流和电压波形是纯正的正弦波。实际上，当在负荷中流过的电流与施加的电压不呈线性关系时，就导致了非正弦波电流的产生。在一个只含有线性元件——电阻、电感和电容的简单电路中，流过的电流与施加的电压成正比（在一特定频率），因此，如果施加正弦电压，产生的电流也为正弦波形，如图 13.2-1 所示。负荷曲线描述了施加的电压和在负荷中产生的电流之间的关系，图 13.2-1 所示为一个线性负荷。如果是一个电抗元件，电压和电流波形之间将产生一个移相，功率因数降低了，但电路仍是线性。

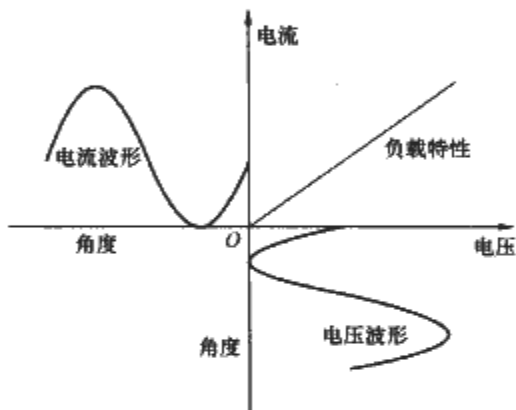


图 13.2-1 线性负荷的电流波形

图 13.2-2 描述了负载是一个简单的全波整流器和电容器的情况，例如典型开关型电源的输入状态。在这种情况下，只有供电电压超过了储存在储能电容器上的电压，即接近了电压正弦波的尖峰才产生电流，如负荷曲线的形状所示。

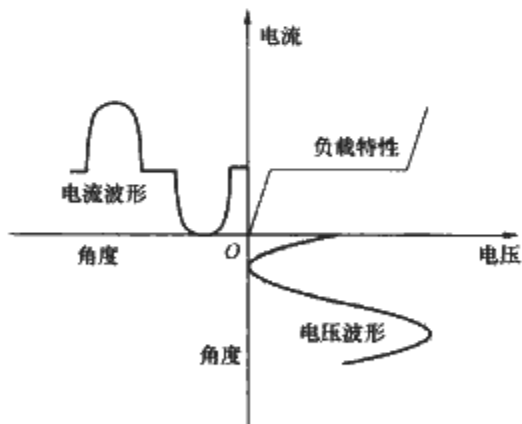


图 13.2-2 非线性负荷的电流波形

实际上，负荷曲线（和此后的电流波形）通常会比本图所示的更为复杂；可能会有一些不对称和滞后，转折点和斜坡随着负荷的变动而改变。

任何周期性波形都可以分解成一个基波频率的正弦波加多个谐波频率的正弦波。因此在图 13.2-2 中的畸变电流波形可以用基波加上一定百分比的 2 次谐波，再加上一定百分比的 3 次谐波等来表示，通常考虑到 30 次谐波就可以了。对于对称波形，即正半周和负半周的形状和幅值都相等，所有的偶次谐波为零。偶次谐波现在相对较少出现，但如果广

泛采用半波整流电路就会很普遍。

图 13.2-3 所示为一个非线性负荷的等效电路。它可以表示为一个线性负荷由许多并联电流源供电，一个电流源表示一种谐波频率。

由负荷产生的谐波电流——或者更精确地说，由负荷从基波电流转换成的谐波电流——经过电源阻抗和所有其他并联路径流过整个电路。结果是流过电源阻抗将产生谐波电压，且在整个装置中存在。谐波发生器有时看作电压源，如果是这样，则电源阻抗对此电源上的谐波电压的幅值没有任何影响。实际上，这个电压的幅值与电源阻抗成比例（在一个有限范围内），表明发生器的作用像一个电流源。

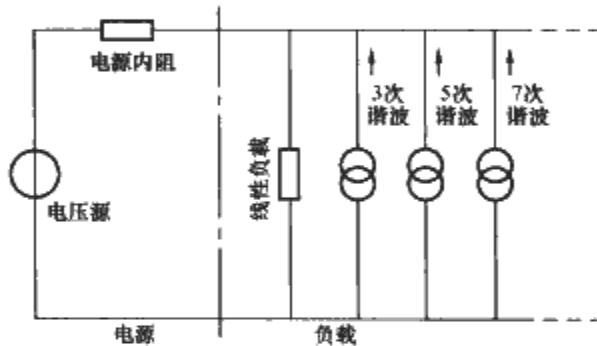


图 13.2-3 非线性负荷的等效电路

由于电源阻抗非常低，因此由谐波电流导致的谐波电压畸变也很低，经常低于网络背景值。这样可能会使人误解，因为它给人的印象是，即使实际存在很大的谐波电流，好像也没有谐波问题。这与试图用电压表寻找一个循环的电流的情况颇为类似。如果怀疑谐波存在，或者要证实它们不存在，则必须测量电流。

谐波频率是电源基波频率的整数倍，即如果基波为 50Hz，3 次谐波为 150Hz，5 次谐波为 250Hz，基波和谐波叠加后的波形不是正弦波，这意味着通常测量设备，如平均读数、按有效值刻度的万用表不能给出正确的测量值。在每个周波内有多个过零点，而不是纯正弦波的两个，因此许多采用过零点作为基准的设备将不能正常使用。波形包含了非基波频率，应该进行相应的处理。

在谈论电力装置中的谐波时，最关心的是电流谐波，因为大多数不良影响都是由于这些电流。同时测量电压和电流值且明确地表示给出值为电压和电流值是非常重要的。习惯地将电流畸变测量值加后缀“i”，如 25%THDi；电压畸变值加后缀“v”，如 3%THDv。

### 2 配电系统谐波危害

理想的供电网所提供的电压应该是单一而固定的频率以及规定的电压幅值。谐波电流和谐波电压的出现，对供电网是一种污染，它使用电设备所处的环境恶化，也给周围的通信系统和公用电网以外的设备带来危害。谐波对供电网和其他系统的危害大致有以下几个方面：

(1) 谐波引起的谐振和谐波电流放大，危及电网安全

为了补偿负载的无功功率，提高功率因数，常在负载处装有并联电容器。为了提高系统的电压水平，常在变电所安

装并联电容器。此外,为了滤除谐波,也会装设由电容器和电抗器组成的滤波器。在工频频率下,这些电容器的容抗比系统的感抗大得多,不会产生谐振。但对谐波频率而言,系统感抗大大增加而容抗大大减小,就可能产生并联谐振或串联谐振。这种谐振会使谐波电流放大几倍甚至数十倍,会对系统,特别是对电容器和与之串联的电抗器形成很大的威胁,常常使电容器和电抗器烧毁。在由谐波引起的事故中,这类事故占有比例很高。电容器和与之串联的电抗器的烧毁在谐波引起的事故中占70%~75%。

### (2) 谐波导致额外的电能损耗,并构成设备安全隐患

谐波电流在电网中的流动会在线路上产生有功功率损耗,它是电网线路损耗的一部分。一般来说,谐波电流与基波电流相比所占比例不大,但谐波频率高,导线的集肤效应使谐波电阻比基波电阻增加得大,因此谐波引起的附加线路损耗也增大。

谐波源在一些谐波频率上吸收有功功率,在另一些频率上向外发送有功功率。这些谐波有功功率通常都是由从电网吸收的基波有功功率转化来的。谐波源吸收的谐波有功功率常常对产生谐波的装置本身是有害无益的。谐波源发出的谐波有功功率也给接在电网上的其他用电设备带来危害,并增加功率损耗。

对于采用电缆的输电系统,谐波除了引起附加损耗外,还可能使电压波形出现尖峰,从而加速电缆绝缘的老化,引起浸渍绝缘的局部放电,也使介质损耗增加和温升增高,缩短电缆的使用寿命。通常电缆的额定电压越高,谐波对电缆的危害也越大。电缆的分布电容对谐波电流有放大作用,会使上述危害更为严重。

对于架空线路来说,电晕的产生和电压峰值有关。虽然电压基波未超过规定值,但由于谐波的存在,其电压峰值可能超过允许值而产生电晕,引起电晕损耗。

含有电力谐波的电压加在电容器两端时,由于电容器对电力谐波阻抗很小,谐波电流叠加在电容器的基波上,通过电容器的电流就会变大,使电容器损耗功率增加。虽然对于膜纸复合介质电容器允许有谐波时的损耗功率为无谐波时损耗功率的1.38倍,对于全膜电容器允许有谐波时的损耗功率为无谐波时的1.43倍,但如果谐波含量较高,超出电容器允许条件,就会使电容器过电流和过负荷,损耗功率超过上述值,使电容器异常发热,在电场和温度的作用下绝缘介质会加速老化。另外,谐波的存在往往使电压呈现尖顶波形,尖顶电压波易在介质中诱发局部放电,且由于电压变化率大,局部放电强度大,对绝缘介质更能起到加速老化的作用,从而缩短电容器的使用寿命。一般来说,电压每升高10%,电容器的寿命就要缩短1/2左右。

在民用建筑中,常常大量使用荧光灯和其他产生大量3次谐波的灯具及各种电器。这些3次谐波都从中性线流过,甚至使其电流超过各相电流。因正常情况下中性线电流比各相电流小得多,因而设计时中性线的导线较细。在大量3次谐波电流流过中性线时,就会使导线过载过热、绝缘损坏,进而发生短路,引起火灾。我国已发生多起由于这一原因而引起的重大火灾,造成惨痛损失,必须采取足够的重视。

谐波对电网的危害除造成线路损耗外,更重要的是使电网波形受到污染,供电质量下降,危及各种用电设备的正常运行。

### (3) 谐波对旋转电机和变压器的危害

谐波对旋转电机和变压器的影响主要是引起附加损耗和过热,其次是产生机械振动、噪声和谐波过电压。这些将缩

短电机的寿命,情况严重时甚至会损坏电机。

对同步电机来说,定子绕组流过谐波电流后将产生与谐波频率相对应的旋转磁场,在转子绕组中感应出谐波电流。对隐极电机来说,谐波电流主要在转子的槽楔、齿和转子端部的套箍上流动;对凸极电机来说,谐波电流主要在极靴中流动。由于谐波频率高,集肤效应显著,因此谐波电流只在上述转子各部件的表层流动,所以转子中的阻尼绕组、槽楔、齿和套箍最容易受到谐波电流的损害。谐波发热对隐极电机的影响要比对凸极电机的影响严重得多。

集肤效应使得定子绕组中的谐波电流的分布也很不均匀。定子双层绕组中沿槽高度的上层线棒内的谐波损耗可能比下层线棒内高几倍。但对电机而言,谐波损耗主要还是在转子中。

国际电工委员会和我国都对同步电机允许的负序电流最大值有明确的规定。谐波电流引起的电机附加损耗和发热可以折算成等效的基波负序电流来考虑。为了不降低同步电机的绝缘寿命,与承受负序电流的情况相似,在同步电机承受谐波电流时应提高设计裕度,或者在使用时要降低出力。

异步电动机中的绝大多数转子用硅钢片叠成,由笼型绕组承载感应电流。这种笼型异步电动机只有定子存在绝缘,因而成为对谐波损耗发热较为敏感的薄弱环节。异步电动机的谐波功率损耗主要是铜损耗。其损耗和谐波电压 $U_n$ 的二次方成正比,和谐波电抗 $X_n$ 的二次方成反比,和谐波电阻 $R_n$ 成正比。谐波电压较大时,磁饱和将引起 $R_n$ 和 $X_n$ 的下降,使总的谐波损耗增大。因此,谐波所引起的异步电动机的附加损耗和发热要比只按谐波电压计算的大得多。

一般馈电母线上都接有许多台电动机,因此按承受谐波电压的能力来考虑比按单台电动机承受谐波电流能力来考虑更合理。考虑谐波引起的电动机的发热效应时,通常也可以把谐波电压折算成负序电压来考虑。各国对电动机允许的基波电压负序值通常规定为额定电压的2%或3%。

除谐波引起的损耗外,谐波引起的机械振动对电动机也有很大的危害。

同步电动机的定子绕组中流过正序谐波电流 $I_{n+}$ 和负序谐波电流 $I_{n-}$ 时,它们所产生的旋转磁场将相对于转子分别以 $n-1$ 倍同步转速正方向和 $n+1$ 倍同步转速反方向旋转,同时也产生谐波转矩,引起电动机以 $n\pm 1$ 倍基波频率的机械振动。如果该频率接近电动机的固有振动频率,甚至会引起电动机的强烈振动。

异步电动机的定子绕组流入正序和负序谐波电流 $I_n$ 时,形成正向或反向以 $n$ 倍同步转速旋转的磁场。正序分量谐波电流将产生正向转矩,和基波正序分量转矩方向相同。负序分量谐波电流将产生相反方向的转矩。由于谐波分量一般并不大,因此产生的转矩也很小,而且正和负序谐波电流产生的转矩相互抵消一部分,所以谐波电流产生的平均转矩可以忽略,但是它产生的脉动转矩却会引起电动机的机械振动和噪声。

变压器励磁电流中的谐波电流通常不大于额定电流的1%,且其作用是使磁通为正弦波,因此并不引起变压器铁损耗增大。变压器在刚通电过程中谐波电流可能很大,但历时很短,一般也不会形成危害。但当发生谐振时,就有可能危及变压器的安全。当直流电流或低频电流流入变压器时,会使铁心严重饱和,励磁电流中的谐波电流就会大大增加,会使变压器受到危害。

谐波使变压器的铜耗增大,其中包括电阻损耗、导体中的涡流损耗与导体外部因漏磁通引起的杂散损耗都要增加。

随着谐波频率的增高,集肤效应更加严重,铁损耗也更大。因此高次谐波分量比低次谐波分量更易引起变压器的发热。谐波电流还会引起变压器外壳、外层硅钢片和某些紧固件发热,并有可能引起变压器局部严重过热。由于以上两方面的损耗增加,因此要减少变压器的实际使用容量,或者说在选择变压器额定容量时需要考虑留出电网中的谐波含量。

除此之外,谐波还导致变压器绝缘的电场强度及噪声增大,变压器的振动噪声主要是由于铁心的磁致伸缩引起的,随着谐波次数的增加,振动频率在 1kHz 左右的部分使混杂噪声增加,有时还发出金属声。

#### (4) 对低压开关设备的危害

对于配电用断路器来说,全电磁型的断路器易受谐波电流的影响使铁损耗增大而发热,同时由于对电磁铁的影响与涡流影响使脱扣困难,且谐波次数越高影响越大;热磁型的断路器,由于导体的集肤效应与铁损耗增加而引起发热,使得额定电流降低与脱扣电流降低;电子型的断路器,谐波也要使其额定电流降低,尤其是检测峰值的电子断路器,额定电流降低得更多。由此可知,上述三种配电断路器都可能因谐波产生误动作。

对于漏电断路器来说,由于谐波源漏电流的作用,可能使断路器异常发热,出现误动作或不动作;对于电磁接触器来说,谐波电流使磁体部件温升增大,影响接点,线圈温度升高使额定电流降低;对于热继电器来说,因受谐波电流的影响也会使额定电流降低。在工作中它们都有可能造成误动作。

#### (5) 谐波对继电保护和电力测量的影响

电力系统中的谐波会改变保护继电器的性能,引起误动作或拒绝动作。不同类型的继电器工作原理和设计性能不同,因此谐波对其影响也有较大的差别。谐波对大多数继电器的影响并不太大,但对部分晶体管型继电器可能会有很大的影响。

电磁型继电器的动作是由其电流有效值的平方决定的,对频率的不同并不敏感。一般在谐波含量小于 10% 时,对电磁型继电器影响不大。对于铁心用软铁材料制成的电磁型继电器,谐波含量小于 40% 时,动作误差值不大于 10%。但在动态情况下可能会有很大影响。如投入空载变压器时会产生谐波含量很高的励磁涌流,会造成继电器误动作而使开关跳闸。

感应型继电器对谐波也不敏感。这种继电器中的圆盘或圆筒在磁场的作用下都将产生感应电流,该电流和空间中另一磁场相互作用产生转矩,推动圆盘或圆筒转动。无谐波时转动很平稳,有谐波时会有抖动。因转动部分惯性较大,轻微的抖动并不会使其误动作。

整流型继电器的种类较多,原理各不相同。有的受谐波的影响较为严重。如反映瞬时值的电流继电器由全波整流后的脉动电压来控制继电器的动作,就容易受谐波的影响。增量继电器中有 LC 并联谐振电路和电阻组成的四臂电桥,电桥平衡是按 50Hz 电流考虑的,因此容易受到谐波的影响。应用积分比相原理构成的高频差相保护和差动保护装置也很容易受到谐波的影响。在设计这些继电器时,都要充分考虑到谐波的影响。

电力测量仪表通常是按工频正弦波形设计的,当有谐波时,将会产生测量误差。仪表的原理和结构不同,所产生的误差也不相同。

事实上,在有谐波的情况下,如何测量功率和电能等和收费直接有关的电气量,这既是一个非常实际的问题,也是

一个基础理论问题。这个问题和谐波标准密切相关,更为关键的是,它与存在谐波时功率的分类和定义直接相关。国际性学术组织电气及电子工程师协 (IEEE) 曾成立了有关非正弦情况下计量仪表所受影响和功率定义的专门工作组 (IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations; Effects on Meter Performance and Definitions of Power)。正如该工作组在 1996 年发表的报告中所指出的那样,数字采样测量技术的发展正在突破以前的各种技术限制,现在的关键问题是缺少功率分解和定义的统一。同一厂家制造的同一种仪表对同一电气量进行测量,按照不同的定义所得的结果有时竟相差 20%~30%。这种情况反映了当前这一领域的主要矛盾。在有谐波时,如何建立科学的功率定义和理论,并适合于仪表测量和电能的管理及收费,且能为广大供电企业和电力用户普遍接受,还需要付出艰苦的努力。

交流电流表和电压表分别测量电压和电流的方均根值,功率表测量电压、电流瞬时值乘积在一个周期内的平均值。电压表的线圈电感量大,其产生的测量误差也比电流表大一些。无论是电磁型仪表还是电动型仪表,经过精心设计,采取合理的结构和必要的频率补偿措施,都可获得较好的频率特性。电压表、电流表和功率表均可用于 2000Hz 以下,甚至更高的频率范围。

整流式磁电型仪表实际测量的是平均值,再按正弦波的波形因数换算成有效值。当波形畸变时,当然会带来误差。

感应式电能表由电磁部分、转动部分和制动磁铁三部分构成。在测量非正弦电路的电能时,电路总功率一般由直流功率  $P_{dc}$ 、基波功率  $P_1$  和谐波功率  $P_h$  三部分构成。电能表可准确地测量基波功率  $P_1$ ,但是不能测量  $P_{dc}$ 。直流功率在电能表中不能产生正常的转矩,但当铝盘转动时,它将产生一定的制动转矩,造成误差。电能表不能准确测量出谐波功率  $P_h$ ,测量值多比实际值小,且所引起的误差还与谐波流动方向有关,可能为正或为负。直流功率引起的误差也和直流功率流向有关。

事实上,上述测量即使非常精确,也是存在问题的。在测量交流电流、电压值时,如果要观察电动机是否有足够的转矩和输出功率,观察电容器是否能提供所需基波无功功率,只要仪表指示出基波电压、电流即可;这时如指示出包含谐波在内的有效值,反而会产生问题。在测量电能时,如果负载不是谐波源,而电网电压含有谐波,则会在负载上产生有害的谐波损耗,用户还要为此多付电费。如用户是谐波源,向电网输出有害的谐波有功功率,付出的电费比它所消耗的基波有功功率应付的电费还少。这些结果显然是非常不合理的。在有谐波的情况下,如何科学地定义各种功率,如何合理地管理收费,还有许多工作要做。当然,谐波在管理标准规定的范围之内时,上述测量不会有很大的误差。

#### (6) 谐波对通信系统的干扰

谐波对通信系统的干扰在国际上是一个被十分重视的问题,对此已进行了充分的研究并制定了相应的标准。谐波干扰会引起通信系统的噪声,降低通话的清晰度。干扰严重时会引起信号的丢失,在谐波和基波的共同作用下引起电话铃响,甚至还发生过危及设备和人身安全的事故。

电力系统传输的功率以兆瓦 (MW) 计,而通信系统的功率以毫瓦 (mW) 计,两者相差十分悬殊。因此,电力网中不大的不平衡音频谐波分量,如果耦合到通信线路上,就可能产生很大的噪声。

电力网中的平衡电流一般对通信系统影响不大,而不平衡电流,特别是不平衡谐波电流对通信系统可能产生严重的



干扰。在有多个中点接地的电网中,如有较大的零序分量谐波电流通过中点流入大地,就会严重干扰附近的通信系统。

电力网对通信系统干扰的大小是由以下三个因素综合决定的:

- ① 电力线路谐波电压和谐波电流的大小。
- ② 电力线路和通信线路之间的耦合强度。
- ③ 通信线路对谐波干扰的敏感程度。

电力线路和通信线路之间的耦合有电磁感应、静电感应和传导耦合三个途径。下面对其分别进行简单的介绍:

1) 电磁感应耦合。电力线路中流过电流  $I_R$  时会产生交变磁场,该磁场会在附近的电话线路上感应出一个电动势  $U_m$ ,两者之间的耦合强度是和两个线路之间互阻抗  $Z_M$  的大小有关的。

对于以大地作为返回导线的单回路电话线路来说,电力线路电流  $I_R$  在电话回路上感应的电动势为

$$U_m = Z_M I_R \quad (13.2-1)$$

式中,互阻抗  $Z_M$  随不平衡残余电流环路面积的增加而增大,随两线路走向的公共长度增大而增大,随谐波频率的增高而增大,随大地电阻率的增大而增大,随两线路间的距离增大而减小。

对于双线电话回路,电力线路电流可通过电磁感应在双线围成的回路产生电压  $U_m$ 。当架空线路有规则换位,或采用绞线电缆时,这种电磁感应是很小的。只有在电力线和电话线很靠近,或两者交叉跨越且角度较小时,这种电磁感应才会产生一定影响。

2) 静电感应耦合。电力线路和通信线路之间有耦合电容,通信线路和大地之间也有耦合电容,通常还接入一定阻抗,电力线路的对地电压经过这些电容的耦合会在电话线上产生感应电动势  $U$ 。这种耦合是通过静电感应产生的,因此称静电感应耦合。一般来说,静电感应电动势  $U$  比电磁感应电动势要小得多,而且可以用电缆屏蔽予以消除。只有在电话线距高压输电线很近,且两者平行距离很长时,才需考虑静电耦合的影响。

3) 传导耦合。电力系统在不平衡状态下运行时,就会有残余电流经中点流入大地。如电话线也经附近大地形成回路,电力线路和电话线路之间就会通过公共的大地部分产生传导耦合。在电力系统正常运行时,传导耦合所产生的干扰一般很小,可以不予考虑。但在电力系统发生接地故障或严重不对称运行时,会使中点接地附近引起电压异常升高,干扰通信系统,甚至危及通信设备和人身安全,必须予以注意。

电磁感应耦合的互阻抗和静电感应耦合的互导纳都和谐波率成正比,因而谐波频率越高,耦合越强。人耳和话机对不同的频率有不同的灵敏度。对于 50Hz 的电压和电流的灵敏度是很低的,对于 1000Hz 附近的电压和电流的灵敏度最高。一般话音频率范围为 300~3000Hz 之间,电力线路中的一部分谐波就在这一频率范围,因而易对电话回路形成干扰。为了表征不同频率谐波所产生的干扰效应,目前有两种重要的灵敏度响应加权制。在欧洲普遍采用国际电报电话咨询委员会制定的 CCHT 制,在北美洲则采用贝尔电话系统(BTS)和爱迪生电气协会(EEL)制定的 C 信息加权制。

### 3 谐波源

电力系统稳态方式下的谐波,都来自各种谐波源。所谓“谐波源”,通常是指各类特定的用电设备,即非线性用电设备,或称非线性电力负荷。当电力系统向非线性负荷供电

时,负荷吸收的电流与施加的电压波形不同,形成畸变电流。电力系统存在电源阻抗,使电压也发生畸变,从而对配电设施和所有负荷产生影响。该畸变电流包含了基波和一系列频率为基波频率的整倍数的谐波电流分量。

因此,非线性用电设备是电力系统中某些地区或网络出现严重谐波影响的主要原因。按谐波产生的机理分析,向电网注入谐波电流的,主要有三大谐波源。

#### 3.1 半导体型

随着硅整流技术的发展和不断完善,硅整流装置以及双向晶闸管开关设备等,在工矿企业及家用电器中得到日益广泛的应用。它有多相和单相之分;而从功能上看,有整流、逆变、交流调压和变频之分。建筑电气领域通常涉及下列类型:

- 1) 电动机变频器等。
- 2) 家用电器,如荧光灯、电视机、调速风扇、空调、电冰箱等。
- 3) 高新技术应用的多种设备,如电子计算机、敏感电子器件、功调器、激光切割设备、卫星传送器、核磁共振设备、节能灯(如高压钠灯和其他气体放电灯)等。

这些大大小小的非线性用电设备按均会将谐波电流注入电网,是最常见的谐波源。

#### 3.2 铁心型

变压器、电抗器、各种旋转电机都含有铁心,铁心具有磁饱和性,铁心饱和后是非线性的。变压器铁心常工作在磁通密度较高的区段,磁化曲线更陡,更易产生谐波。因此,电力系统中大量的变压器群和并联(铁心)电抗器也是谐波源。变压器个体产生的谐波一般较小或很小,但其群体产生的谐波总和则是电力系统中背景谐波的主要构成部分。电网中的饱和电抗器和可控电抗器也是谐波源。

旋转电机由于其磁极不平衡、绕组不平衡、定子与转子开槽及铁心饱和等原因也会产生一些谐波,但含量较少。

发电机虽然也产生主要构成零序分量的 3 次谐波,但基本上不存在 3 次谐波端电压,故不向电网输出 3 次谐波。大、中型发电机产生的其他次(主要是 5 次)谐波电动势都很小,而这些发电机的巨大短路容量则是电力系统承受谐波能力的支柱。因此在谐波潮流分析中,通常不把发电机看作谐波源,而看作是吸收谐波的末端支路。

#### 3.3 电弧型

电弧炉是现代炼钢的重要手段,在炼钢工业中所占比重越来越大。由于电弧延时发弧、电弧电阻的非线性和电弧游动等因素,使电弧电流畸变,特别在初炼期注入电网的奇偶次谐波很大,且持续时间长,对电网的影响十分严重。大型电弧炉的发展方向是采用更经济有效的直流电弧炉。在谐波源分类上,直流电弧炉由整流器馈电,故应列入电力电子装置。铁合金矿石炉、电石炉和电弧炉虽都采用石墨电极来注入熔化电流,但用电特性有很大差别。

### 4 常见谐波源参数

市政、建筑及生活用电设备等领域的非线性用电设备主要有电视机、各种节能灯(荧光灯、各种高压气体放电灯、调光白炽灯等)、电冰箱、洗衣机、录像机、微波炉、电磁炉、计算机、激光打印机、充电器、电车和地铁的整流装置、各种医疗用和科研用的仪器和设备、调速驱动(如热



泵、空调用压缩机及电梯)等。这些设备大多数都是小容量(数十瓦到数千瓦),但数量极多,它们对电网的影响不容忽视。

4.1 电视机

家用电器中对电网谐波影响最大的电器是数量庞大的电视机群。现代电视机采用全波整流,并利用晶闸管在电源电压峰值时触发,所以电视机的电流都是脉冲形,接于同一电源的电视机群的电流脉冲基本上同时发生,所以其主要谐波电流几乎是同相位的叠加。由于城网中电视机数量极大,且谐波电流畸变率也极大,又在晚间收视率高峰时刻集中使用,所以谐波影响很大。表 13.2-1 列出了各种型号彩色电

视机的谐波电流值。

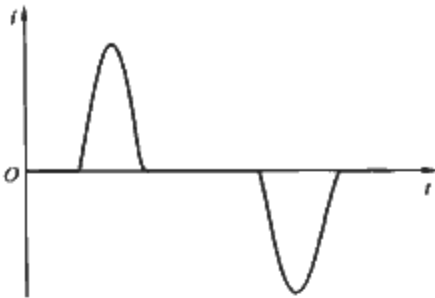


图 13.2-4 电视机 (CRT) 电流波形

表 13.2-1 各种型号彩色电视机谐波电流值

电视机型号	额定功率 (W)	基波流有效值 (A)	各次谐波电流分量有效值 (A)					
			3	5	7	9	11	13
一	215	0.605	0.545	0.447	0.318	0.192	0.081	0.018
二	190	0.527	0.459	0.363	0.243	0.130	0.035	0.024
三	180	0.512	0.428	0.305	0.162	0.049	0.030	0.052
四	169	0.433	0.389	0.317	0.227	0.142	0.068	0.022
五	115	0.457	0.395	0.313	0.210	0.117	0.039	0.021
六	135	0.636	0.573	0.472	0.345	0.219	0.010 3	0.016

4.2 非线性照明用电

最初出现的电灯是白炽灯,现仍广泛应用,但效率较低,电耗较大。近代出现的各种节能灯,效率比普通白炽灯高许多。但白炽灯是线性电器,而节能灯几乎都是谐波源,而且在市政生活用电的谐波高峰时段,即晚间,也是使用率很高的电器。幸而大多节能灯的谐波电流畸变率比电视机要低,不同种类和型式的节能灯的主要谐波电流的相位也有所分散。主要的节能灯有荧光灯、高压气体放电灯和调光白炽灯等。

(1) 荧光灯电子镇流器

电子灯光镇流器在近些年得到了广泛的应用,其目的是为了提效率。总的来说,它们仅比最好的电感镇流器效率高一点,事实上,大部分效率的提高源于在高频驱动时灯管的高效率,而不是电子镇流器本身。其主要优点是通过对运行电流的反馈控制在整个延长了的寿命内保持其照度水平(运行电流是降低整个寿命效率的实际原因)。它们最大的缺点是在供电电流中产生谐波。所谓的功率因数校正类型在较大容量时有提供,以使谐波问题得以改善,但成本相当高。

小型装置通常不校正。

现在紧凑型荧光灯管(节能灯管)(CFL)在逐步替代钨丝灯泡。安装在接线盒中的微型电子镇流器控制 8mm 直径 U 形荧光灯管。11W 的 CFL 相当于 60W 的钨丝灯泡,预期寿命高达 8000h。这种光源现已广泛应用在家庭和宾馆,逐步取代了钨丝灯泡,严重的谐波问题突然变得随处可见。

各型荧光灯的谐波电流含有率相差很大,其中又有各种类型。各型荧光灯的谐波电流含有率见表 13.2-2,需说明以下几点:

1) 紧凑型灯中,采用线绕镇流器的第三类型装有并联电容器,以提高功率因数,降低电流和线损,但电容器明显放大谐波电流。

2) 紧凑型灯中,采用电子镇流器的第一类型的谐波含有率最高,而且电流脉冲和主要谐波相位实际上和电视机电流脉冲和谐波相重合,必然增加晚间电视机高峰的谐波电压。但若将少数此型灯和多数采用线绕镇流器的灯混用,则因两者的主要谐波相位错开而局部互相抵消。

表 13.2-2 荧光灯谐波电流含有率

类 型		$I_3/I_1$	$I_5/I_1$	$I_7/I_1$	$I_9/I_1$	$I_{11}/I_1$	$I_{13}/I_1$	$I_{15}/I_1$	$I_{17}/I_1$	$I_{19}/I_1$	备 注
普通型 (%)	某品牌 30W	12	2	1.4	0.3	0.5	0.3	0.2	<0.2		
	某品牌 60W	12	1.0	1.3	<0.5						
紧凑型 (%)	国产线绕镇流器 32W (cosφ=0.45)		7.9	0.8	12	1.0	1.3	0.2	0.1	0.1	$I_2/I_1=3.6\%$
	国外线绕镇流器	之一 (低功率因数)	7.6	2.7	2	1	0.6	0.3	0.2	0.1	$I_2/I_1=0.4\%$
		之二	15	11.5	2.2	1.8	0.8	0.4	0.3	0.2	$I_2/I_1=1.1\%$
		之三 (高功率因数)	35	12	16	8	2	3	1	2	THD <sub>i</sub> =35.7%

续表

类 型			$I_3/I_1$	$I_5/I_1$	$I_7/I_1$	$I_9/I_1$	$I_{11}/I_1$	$I_{13}/I_1$	$I_{15}/I_1$	$I_{17}/I_1$	$I_{19}/I_1$	备 注
紧凑型 (%)	电子 镇流器	之一 (脉冲式)	88	70	50	30	25	22	20	17	14	$THD_i=135\%$
		之二 (高频式)	15	11.5	9.2	1.7	6	6.2	0.3	3.1	2.9	$THD_i=24.4\%$
		之三 (新一代)	6.6	2.4	0.7	0.85	0.2	0.3	0.9	0.8	0.2	$THD_i=7.85\%$

3) 紧凑型灯中,采用电子镇流器的第二类型需经整流再逆变,产生出 20~60kHz 的电力经过高频变压器馈供给灯管,故除了表 13.2-2 中所列谐波电流含量外,尚有极高频的谐波电流含量,但一般仪器不能响应如此高频,故不能测出。

4) 紧凑型荧光灯主要用于住宅,每个灯的功率在 9~33W 之间。在公共场所一般都用普通型荧光灯,并且 3~4 个灯管共用一个灯座。

(2) 高压气体放电灯

高压气体放电灯利用有一定压力的汞、钠、镉、铟或金属卤化物的蒸气,放电时有负电阻特性,故串接非线性的镇流器。高压钠灯和汞灯用得较多。表 13.2-3 给出了某些高压钠灯和汞灯的基波电流和谐波电流;表 13.2-4 给出在实验室利用稳压电源对 368 个 220V、50Hz 的钠灯和汞灯测定的谐波电流含有率。钠灯共 254 个,功率有 150W、250W、400W 三种,其中 47 个有并联电容;汞灯共 114 个,功率有 125W、250W、400W 三种,其中 25 个有并联电容。高压气体放电灯主要用于街道、广场、露天矿等处的照明。

表 13.2-3 某些高压钠灯和汞灯的  $I_1$  和主要  $I_h$

类 型	功率 (W)	$I_1$	$I_3$	$I_5$	$I_7$	$I_9$
钠灯 (A)	70	1.4~1.45	0.16~0.17	0.025~0.03	0.025	0
	110	1.49~1.54	0.19~0.2	0.032~0.035	0.03~0.04	0
	215	2.15~2.38	0.31~0.36	0.035~0.036	0.04~0.06	0.001
汞灯 (A)	125	1.22~1.24	0.15~0.16	0.02	0.02	0
	250	1.77~1.81	0.22~0.23	0.02	0.02	0
	400	2.81~2.97	0.29~0.34	0.03~0.04	0.03	0.001

表 13.2-4 没有和有并联电容器高压钠灯和汞灯的  $I_h/I_1$

类型	并联电容	$I_h/I_1$								
		3 次	5 次	7 次	9 次	11 次	13 次	15 次	17 次	19 次
钠灯 (%)	无	8~11	3~7	1~3	0.5~1.5	0.3~1.5	0.2~3	0~1	0~1.5	0~1
	有	18	23	17	5	9	16	9	11	8
汞灯 (%)	无	8~15	3~9	1~7	0.2~2	0~2.5	0~4	0~2.5	0~3	0~3
	有	17~20	22~27	15~19	3~5	6~9	14~18	7~9	7~11	6~11

(3) 白炽灯调光装置

这里专指利用电力电子技术的调压装置,不包括感应降压调压器。这类设备的总容量和谐波影响虽然不及换流装置,但在配电网中(0.4kV 和 6~10kV 电压级)也是较重要的谐波源。三相交流调压装置广泛用于街道、剧场、公寓等的灯光控制中。

三相交流调压装置的基本原理是在电源侧或负荷中性点侧,或在三角接线中每相串入一对反接并联的晶闸管(或一个双向晶闸管,也可以用 GTO)。还有较经济的半控型调压装置,在每相串入一个晶闸管(或 GTO),并且和一个二极管反接并联。晶闸管或 GTO 由控制电路触发,根据所需输出电压值来控制每一周期中的通、断电时间。

如果只装用其中的一相(连同中性线),那就是单相可控调光装置。图 13.2-5 表示出了其典型的电流波形。有实验室测试表明,当增大燃弧角时,虽然谐波电流含有率  $I_h/I_1$  上升,但谐波电流和灯的额定电流  $I_N$  之比,即  $I_h/I_N$  基本上不变,大量可控节电照明的该比值见表 13.2-5。

表 13.2-5 谐波含量

谐波次数 (次)	3	5	7	9	11	13	15
含量 (%)	35	17	11	3	7	6	5

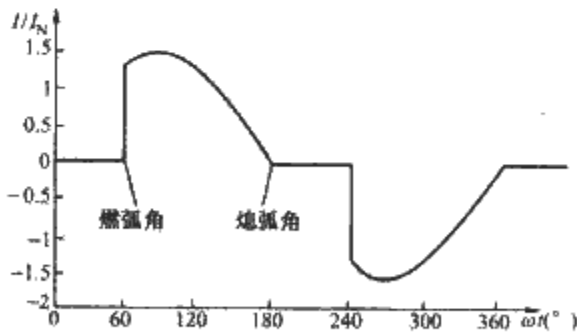


图 13.2-5 单相全波可控节电照明的电流波形

4.3 空调机

随着经济发展和人民生活水平的提高,空调用电连年猛升。由于空调机功率较大(每台 600W 到数千瓦),因此在

许多城市中空调负荷将跃居市政用电的榜首。例如有关供电局预计,几年后深圳市空调负荷将猛升到百万千瓦级,约占该时全市用电负荷的 1/4。因此,空调用电在性质上是属于线性还是非线性,和未来城网背景谐波的涨幅密切相关。西北电研院对一台天鹅牌 KC-35 窗式空调机进行了谐波测试,测试结果表明,其谐波电流大小依工作方式而定,见表 13.2-6。由表可看出,除了只开风扇外,无论是制冷还是制热,THD<sub>i</sub> 都不小,而单台的 THD<sub>i</sub> 比电视机的还要大得多。因此就国家的谐波管理来说,建议对各类空调机的谐波电流摸底,并制定有关标准。

表 13.2-6 某品牌空调机的 $I_1$ 和 $I_N$ 单位: A				
工 况	风 扇	弱、中、强冷	中 热	强 热
$I_1$ (A)	0.527	3.602	2.91	4.00
$I_2$ (A)	0.001	0.225	0.212	0.291
$I_3$ (A)	0.025	0.786	0.928	0.728
$I_4$ (A)	0.003	0.095	0.061	0.101
$I_5$ (A)	0.014	0.303	0.215	0.288
$I_7$ (A)	0.017	0.093	0.103	0.079
$I_9$ (A)	0.018	0.063	0.055	0.076
$I_{11}$ (A)	0.004	0.025	0.034	0.036
$I_{13}$ (A)	0.001	0.003	0.005	0.004
$I_{15}$ (A)	0.002	0.012	0.011	0.015
$I_{17}$ (A)	0.001	0.008	0.007	0.010
THD <sub>i</sub> (%)	7.23	23.88	32.04	20.79

4.4 电冰箱

家用电冰箱的功率和彩电差不多,其谐波电流含有率比彩电小得多,但电冰箱谐波必定参与夜晚出现的家电谐波高峰。表 13.2-7 列出某些电冰箱的主要谐波电流值。由表可以看出 ( $h>7$ ),有的国产电冰箱的谐波电流含有率还是较大的。

表 13.2-7 电冰箱谐波电流测量值					
型 号	$I_1$ (A)	$I_3$ (A)	$I_5$ (A)	$I_7$ (A)	$I_h$ (A) ( $h>7$ )
—	0.6	0.072	0.018	0.004	$<0.002$
二	1.2	0.24	0.02	0.01	$<0.01$
三	(130W)	9.6%	3.7%	0.8%	$<0.8\%$

4.5 洗衣机

我国目前家用洗衣机的功率也和电冰箱接近,谐波电流畸变率稍大,但每天开机时间较短,参与夜晚出现的家电谐波高峰的同时系数不大。但从发达国家经验看,有可能将来我国也会使用较多的高级大功率洗衣机,功率为数千瓦,其中非线性负荷数百瓦,因此估算家电谐波高峰时,洗衣机产生的谐波也需计入。表 13.2-8 列出某些洗衣机的  $I_h/I_N$  值,式中,  $I_N$  是洗衣机的额定电流,对多工况的自动洗衣机是负荷最大工况的额定电流。附带指出,高级洗碗机的功率与高级自动洗衣机相似,但谐波电流含有率比后者小约 60%,参与夜晚出现的家电谐波高峰的同时系数更小,如为 10%。

表 13.2-8 洗衣机的 $I_h/I_N$								
型 号	额定电流 $I_N$ (A)	$I_h/I_N$ (%)						
		3 次	5 次	7 次	9 次	11 次	13 次	15 次
一	0.6	16	8	1	0.2	0.2	0.0	0.2
二	0.6	68.5	7.4	1.5	$<1$			
三	平均非线性负荷 350W	21~48	4.5~9	3~6	3~4.8	3~3.6	$<3$	

4.6 计算机

计算机的使用日趋广泛,不但在学校、科研院所、办公楼、银行中大量使用,而且正在进入家庭。一般计算机的用电负荷和谐波电流主要是显示器 (CRT) 的非线性用电,它和彩电十分相似。其电流波形如图 13.2-6 所示。若干型号计算机的谐波电流测量结果见表 13.2-9。

表 13.2-9 各种型号单台计算机谐波电流值								
计算机型号	基波电流有效值 (A)	各次谐波电流分量有效值 (A)						电流总畸变率 (%)
		3	5	7	9	11	13	
一	0.54	0.47	0.37	0.24	0.15	0.04	0.03	124.3
二	0.72	0.63	0.45	0.27	0.13	0.04	0.06	116.0
三	0.36	0.32	0.27	0.20	0.13	0.06	0.02	135.4
四	0.42	0.38	0.31	0.23	0.15	0.08	0.04	136.6
五	0.42	0.38	0.31	0.23	0.14	0.07	0.02	134.8

计算机整机运行和显示器单独运行相比,第 3~11 次谐波电流含有率稍减,而第 13 次、15 次、17 次谐波电流含有率稍增。由于计算机的谐波电流含有率高,谐波电流相位和电视机的谐波电流重合,而且商场和家用计算机的普及,以及多班制工作的计算机房的计算机都要参与夜晚出现的家电谐波高峰,所以计算机的谐波影响必将迅速增大。附带指出,各种打印机、复印机、游戏机的用电性质以及谐波含有率也和计算机相类似。

大型计算机设施,除计算机外,还有其他电力电子设备,其电流波形更加复杂。图 13.2-6 示出美国某大型计算机设施的电流波形。

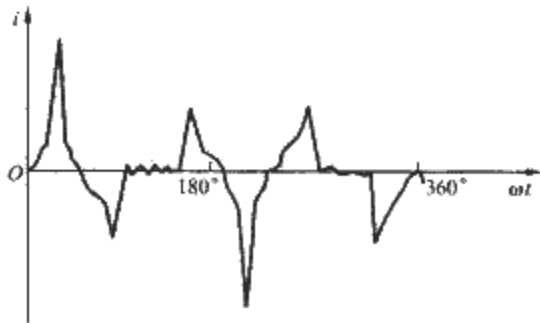


图 13.2-6 某大型计算机设施的 13.2kV 馈线电流波形

5 公共电网的电能质量标准

公共电网相关的国家标准见表 13.2-10。

表 13.2-10

项电能质量国家标准摘要

标准编号	标准名称	允许 限 值	说 明																				
GB 12325—2003	电能质量供电电压允许偏差	(1) 35kV 及以上, 正负偏差绝对值之和不超过 10% (2) 10kV 及以下三相供电, $\pm 7\%$ (3) 220V 单相供电, $+7\%$ , $-10\%$	衡量点为供电产权分界或电能计量点																				
GB 12326—2000	电能质量电压波动和闪变	电压变动 $d$ 的限值和变动频率 $r$ 有关: 当 $r \leq 1000\text{h}^{-1}$ 时, 对于低压 (LV) 和中压 (MV), $d = 1.25\% \sim 4\%$ ; 对于高压 (HV), $d = 1\% \sim 3\%$ ; 当随机不规则的变动时, 对于 LV 和 MV, $d = 2\%$ ; 对于 HV, $d = 1.5\%$  闪变限值 <table><tr><th>系统电压等级</th><th>LV</th><th>MV</th><th>HV</th></tr><tr><td>短时间闪变值 <math>P_{st}</math></td><td>1.0</td><td>0.9 (1.0)</td><td>0.8</td></tr><tr><td>长时间闪变值 <math>P_{lt}</math></td><td>0.8</td><td>0.7 (0.8)</td><td>0.6</td></tr></table> 注: 括号中的值仅适用于所有用户为同电压等级场合	系统电压等级	LV	MV	HV	短时间闪变值 $P_{st}$	1.0	0.9 (1.0)	0.8	长时间闪变值 $P_{lt}$	0.8	0.7 (0.8)	0.6	(1) 衡量点为公共连接点 (PPC) (2) $P_{st}$ 的测量周期为 10min, 取实测 95% 概率大值; $P_{lt}$ 的测量周期为 2h, 不得超标 (3) 限值分三级处理原则 (4) 提供预测计算方法, 规定测量仪器并给出典型分析实例								
系统电压等级	LV	MV	HV																				
短时间闪变值 $P_{st}$	1.0	0.9 (1.0)	0.8																				
长时间闪变值 $P_{lt}$	0.8	0.7 (0.8)	0.6																				
GB/T 14549—1993	电能质量公用电网谐波	各级电网谐波电压限值 <table><tr><th>电压 (kV)</th><th>THD</th><th>奇次</th><th>偶次</th></tr><tr><td>0.38</td><td>5%</td><td>4.0%</td><td>2.0%</td></tr><tr><td>6, 10</td><td>4%</td><td>3.2%</td><td>1.6%</td></tr><tr><td>35, 66</td><td>3%</td><td>2.4%</td><td>1.2%</td></tr><tr><td>110</td><td>2%</td><td>1.6%</td><td>0.8%</td></tr></table> 注: 1. 220kV 电网参照 110kV 执行 2. THD 为总谐波畸变	电压 (kV)	THD	奇次	偶次	0.38	5%	4.0%	2.0%	6, 10	4%	3.2%	1.6%	35, 66	3%	2.4%	1.2%	110	2%	1.6%	0.8%	(1) 衡量点为 PCC, 取实测 95% 概率大值 (2) 对用户允许产生的谐波电流提供计算方法 (3) 对测量方法和测量仪器作出规定 (4) 对同次谐波随机性合成提供算法
电压 (kV)	THD	奇次	偶次																				
0.38	5%	4.0%	2.0%																				
6, 10	4%	3.2%	1.6%																				
35, 66	3%	2.4%	1.2%																				
110	2%	1.6%	0.8%																				
GB/T 15543—1995	电能质量三相电压允许不平衡度	(1) 正常允许 2%, 短时不超过 4% (2) 每个用户一般不得超过 1.3%	(1) 各级电压要求一样 (2) 衡量点为 PCC, 取实测 95% 概率大值或日累计超标不许超过 72min, 且每 30min 中超标不许超过 5min																				
GB/T 15945—1995	电能质量电力系统频率允许偏差	(1) 正常允许 $\pm 0.2\text{Hz}$ , 根据系统容量 (界限为 3000MW) 可以放宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ (2) 用户冲击引起的频率变动一般不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$	对测量仪器提出基本要求																				
GB/T 18481—2001	电能质量暂时过电压和瞬态过电压	(1) 系统工频过电压限值 系统工频过电压限值 <table><tr><th>电压等级 (kV)</th><th>过电压限值 (p. u.)</th></tr><tr><td><math>U_m &gt; 252</math> (I)</td><td>1.3</td></tr><tr><td><math>U_m &gt; 252</math> (II)</td><td>1.4</td></tr><tr><td>110, 220</td><td>1.3</td></tr><tr><td>35~66</td><td><math>\sqrt{3}</math></td></tr><tr><td>3~10</td><td><math>1.1\sqrt{3}</math></td></tr></table> 注: 1. $U_m$ 指工频峰值电压。 2. $U_m > 252$ (I) 和 $U_m > 252$ (II) 分别指线路断路器两侧变电所的线路电压。 (2) 操作过电压限值 包括空载线路合闸、单相重合闸、成功的三相重合闸、非对称故障分闸及振荡解列过电压限值。 操作过电压限值 <table><tr><th>电压等级 (kV)</th><th>过电压限值 (p. u.)</th></tr><tr><td>500</td><td>2.0*</td></tr><tr><td>330</td><td>2.2*</td></tr><tr><td>110~252</td><td>3.0</td></tr></table> * 表示该过电压为相对地统计操作过电压。	电压等级 (kV)	过电压限值 (p. u.)	$U_m > 252$ (I)	1.3	$U_m > 252$ (II)	1.4	110, 220	1.3	35~66	$\sqrt{3}$	3~10	$1.1\sqrt{3}$	电压等级 (kV)	过电压限值 (p. u.)	500	2.0*	330	2.2*	110~252	3.0	(1) 暂时过电压包括工频过电压和谐振过电压。瞬态过电压包括操作过电压和雷击过电压 (2) 工频过电压 $1.0\text{p. u.} = U_m/\sqrt{3}$ 。谐振过电压和操作过电压 $1.0\text{p. u.} = 2U_m/\sqrt{3}$ (3) 除统计过电压 (不小于该值的概率为 0.02) 外, 凡未说明的操作过电压限值均为最大操作过电压 (不小于该值的概率未 0.0014) (4) 瞬态过电压还对空载线路分闸过电压、断路器开断并联补偿装置及变压器等过电压限值作出了规定
电压等级 (kV)	过电压限值 (p. u.)																						
$U_m > 252$ (I)	1.3																						
$U_m > 252$ (II)	1.4																						
110, 220	1.3																						
35~66	$\sqrt{3}$																						
3~10	$1.1\sqrt{3}$																						
电压等级 (kV)	过电压限值 (p. u.)																						
500	2.0*																						
330	2.2*																						
110~252	3.0																						

6 用电设备的谐波限值

6.1 16A 及以下的单相设备

《低压电气及电子设备发出的谐波电流限值（设备每相输入电流小于等于 16A）》（GB 17625.1—1998）

1) 除晶闸管调光型白炽灯以外的照明灯具的谐波电流限值，应符合表 13.2-11 的规定。

表 13.2-11 设备谐波电流限值（一）

谐波次数 $n$	最大允许谐波电流/ 基波输入电流（%）
2	2
3	$30 \times \lambda^{\text{①}}$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (仅考虑奇次谐波)	3

①  $\lambda$  是回路功率因数。

2) 电视接收机、个人计算机及其监视器、监视电视系统的监视器等设备的谐波电流限值，应符合表 13.2-12 的规定。

表 13.2-12 设备谐波电流限值（二）

谐波次数 $n$	每瓦允许最大谐波电流 (mA/W)	最大允许谐波电流 (A)
3	3.4	2.3
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.4
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$ (仅考虑奇次谐波)	$3.85/n$	见规范中表 2.2.1

3) 在建筑物中固定安装的其他设备的谐波电流限值，应符合表 13.2-13 的规定。

表 13.2-13 设备谐波电流限值（三）

谐波次数 $n$	最大允许谐波电流 (A)
奇次谐波	
3	2.3
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 15/n$
偶次谐波	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \times 8/n$

6.2 每相输入电流大于 16A 且小于 75A 的设备

1) 当设备安装点的系统短路功率比  $R_{sc}$  不小于 33 时，直接接入电网设备的谐波电流输出限值应符合表 13.2-14 的规定。

表 13.2-14 设备的谐波电流输出限值  
( $R_{sc} \geq 33$  时)

谐波次数 $n$	允许谐波电流 ( $I_n/I_1$ ) <sup>①</sup> (%)	谐波次数 $n$	允许谐波电流 ( $I_n/I_1$ ) <sup>①</sup> (%)
3	21.6	21	$\leq 0.6$
5	10.7	23	0.9
7	7.2	25	0.8
9	3.8	27	$\leq 0.6$
11	3.1	29	0.7
13	2	31	0.7
15	0.7	$\geq 33$	$\leq 0.6$
17	1.2		
19	1.1	偶次谐波	$\leq 8/n$ 或 $\leq 0.6$

①  $I_1$  = 额定基波电流， $I_n$  = 谐波电流分量，适用于 230/400V，50Hz 电源系统。

2) 当设备安装点的系统短路功率比  $R_{sc}$  符合表 13.2-15、表 13.2-16 的范围时，直接接入电网设备的谐波电流输出限值应符合表 13.2-15、表 13.2-16 的规定。

表 13.2-15 单相、两相和三相不平衡设备  
谐波电流输出限值

$R_{sc}$ 最小值	允许谐波电流畸变 系数 (%)		允许单次谐波电流占基波电流百分比 $I_n/I_1$ (%)						
	THD	PWHD	$I_3$	$I_5$	$I_7$	$I_9$	$I_{11}$	$I_{13}$	
66	25	25	23	11	8	6	5	4	
120	29	29	25	12	10	7	6	5	
175	33	33	29	14	11	8	7	6	
250	39	39	34	18	12	10	8	7	
350	46	46	40	24	15	12	9	8	
450	51	51	40	30	20	14	12	10	
600	57	57	40	30	20	14	12	10	

注 1. 偶次谐波相对值不超过  $16/n$  (%)。  
2. 上下  $R_{sc}$  之间允许用线性内插法取得数据。  
3. 对于三相不平衡设备，上述数据适用于每一相。  
4.  $I_1$  = 额定基波电流， $I_n$  = 谐波电流分量，适用于 230/400V，50Hz 电源系统。

总谐波畸变系数  $THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$ ；高次谐波加权畸变系数  $PWHD = \sqrt{\sum_{n=11}^{\infty} n \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$ 。

表 13.2-16 三相平衡设备谐波电流输出极限

$R_{sc}$ 最小值	允许谐波电流畸变 系数 (%)		允许单次谐波电流占基波电流百分比 $I_n/I_1$ (%)			
	THD	PWHD	$I_5$	$I_7$	$I_{11}$	$I_{13}$
66	16	25	14	11	10	8
120	18	29	16	12	11	8
175	25	33	20	14	12	8
250	35	39	30	18	13	8

续表

$R_{sc}$ 最小值	允许谐波电流畸变系数 (%)		允许单次谐波电流占基波电流百分比 $I_n/I_1$ (%)			
	THD	PWHD	$I_3$	$I_7$	$I_{11}$	$I_{13}$
350	48	46	40	25	15	10
450	58	51	50	35	20	15
600	70	57	60	40	25	18

- 注 1. 偶次谐波相对值不超过  $16/n$  (%)。  
2. 上下  $R_{sc}$  之间允许用线性内插法取得数据。  
3.  $I_1$  = 额定基波电流,  $I_n$  = 谐波电流分量, 适用于 230/400V, 50Hz 电源系统。

总谐波畸变系数  $THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$ ; 高次谐波加权畸变

系数  $PWHD = \sqrt{\sum_{n=15}^{\infty} n \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$ 。

3) 当设备的单相电流大于 75A 时, 其  $THD_i$  宜低于 35%, 但短时工作的设备除外。

## 7 谐波的防治

既然谐波存在多方面的危害, 采取必要的有效手段, 避免或补偿已产生的谐波, 就显得尤为重要。

对于现有供配电网络或待建电网中的电力谐波情况, 要进行仔细分析, 通常解决的方法有两个: 一是局部重组配电网结构, 合理布局或隔离产生电力谐波的设备; 二是使用电源净化、滤波抑制和滤波设备进行治理。通常电压谐波是由电流谐波产生的, 有效地抑制电流谐波就会使电压畸变达到要求的范围。

配电系统设计中可采取的减小谐波影响的预防性措施有以下几种:

- 1) 合理选择供电电压, 并经可能保持三相电压平衡。
- 2) 设计中, 应尽可能将非线性负荷放置于配电系统的上游, 谐波较严重且功率较大的设备应采用专用变压器或从变压器出线侧采用专线供电。
- 3) 由于非线性负载引起的畸变电流在电缆的阻抗上产生一个畸变电压, 而合成的畸变电压波形加到与此同一线路上所接的其他负载, 引起谐波电流在其上流过。因此, 减小谐波危害可通过加大电缆截面积, 特别是加大中性线截面积等措施, 减小回路阻抗来实现。

4) 配电变压器绕组应采用 DYn-Ⅱ 型联结, 以抑制 3 次及 3 倍数次谐波对于 5 次谐波特别严重的场所可采用绕组为 DZ5 型联结的专用变压器, 对于 5 次和 7 次谐波都很严重的场所可采用绕组为 Dyd 型联结的专用变压器。

5) 增加变压器容量, 当变压器的负载中, 谐波源设备较多时, 变压器的负载率应按下式降容。

降容系数

$$D = \frac{1.15}{1 + 0.15K} \quad (13.2-2)$$

K 系数为

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} h(I_h)^2}{\sum_{h=1}^{\infty} (I_h)^2} = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} (hI_h)^2}{I_{rms}^2} \\ = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} (hI_h/I_1)^2}{(I_{rms}/I_1)^2} = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} (hI_h/I_1)^2}{1 + THD_i^2} \quad (13.2-3)$$

注意, K 值应根据治理后的谐波水平确定。

另外, 也可根据谐波源负载占变压器的负载比例, 按图 13.2-7 来粗略估计降容系数。

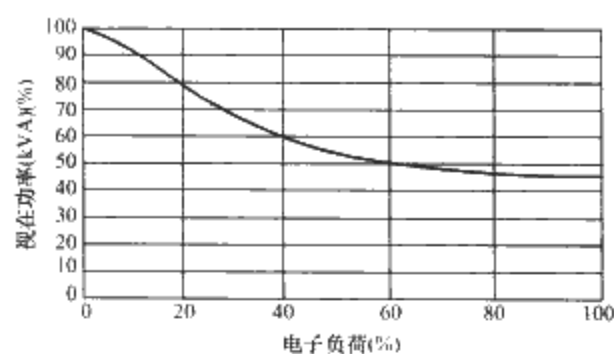


图 13.2-7 变压器降容估算

当不作计算时, 谐波骚扰较严重的建筑物供电配电变压器负载率不宜高于 75%; 谐波骚扰很严重的建筑物供配电系统中, 涉及主要非线性负载的配电变压器负载率不宜高于 70%。

6) 在并联电容器的回路中串联电抗器, 是消除并联电容器对谐波放大作用非常有效和可行的方法。串联电抗器的主要作用是抑制高次谐波和限制合闸涌流, 防止谐波对电容器造成危害, 避免电容器装置的接入对电网谐波的过度放大和谐振发生。但是串联电抗器绝不能与电容器组任意组合, 更不能不考虑电容器组接入母线处的谐波背景。

并联电容器的串联电抗器, 按照其作用分为阻尼电抗器和调谐电抗器。阻尼电抗器的作用是限制并联电容器组的合闸涌流, 其电抗率  $k$  可选择得比较小, 一般为 0.1%~1%; 调谐电抗器的作用是抑制谐波。当电网中存在的谐波不可忽视时, 则应考虑使用调谐电抗器, 其电抗率可选择得比较大, 用以调节并联电路的参数, 使电容支路对于各次有威胁性谐波的最低次谐波阻抗成为感性。据下式可得

$$k = \frac{X_L}{X_C} > \frac{1}{n^2} \quad (13.2-4)$$

表 13.2-17 电抗配比表

理论调谐次数	理论调谐频率 (Hz)	实际调谐频率 (举例, Hz)	实际调谐次数 (举例)	实际电抗器配比
3	150	135	2.7	13.7%, 可选 12.5%~14%
5	250	215	4.3	5.4%, 可选 4.5%~5.5%
7	350	315	6.3	2.52%, 可选 2%~3%

7) 限制连接于供电系统的整流器极限容量。高次谐波电流在电网中与其相对应的谐波阻抗的乘积是相应的谐波压降, 设其对任意基准值的标么值为  $\Delta U_{*nd}$ , 可以有

$$DFV \approx \Delta U_{*nd} = (nX_{*ld}) \frac{I_n}{I_d} \quad (13.2-5)$$

式中,  $n$  为谐波的谐波次;  $X_{*ld}$  为该电网基波阻抗对基准值的标么值;  $I_n$  为流过电网的谐波电流。

由于电压畸变系数是与  $\Delta U_{*nd}$  有关的, 因此上式可写成

$$DFV \approx \Delta U_{*nd} = (nX_{*ld}) \frac{I_1/n}{I_d} \quad (13.2-6)$$

由于  $X_{*ld} = \frac{1}{S_{*k}^{(3)}}$ ,  $I_{*ld} = S_{*NU}$ , 上式就可改写为

$$DFV \approx \frac{S_{*NU}}{S_{*k}^{(3)}} \quad (13.2-7)$$

式中,  $S_{*NU}$  为整流器额定容量 (标么值);  $S_{*k}^{(3)}$  为短路容量 (标么值)。

以上只是定性地给出电压畸变系数与整流器的额定容量成正比、与短路容量成反比的概念, 即给定 DFV, 便可以



根据  $S_k$  确定接于该系统上整流设备的容量。

《电能质量公用电网谐波》(GB/T 14549—1993) 对任意谐波源用户注入电网的谐波电流允许值作了明确规定, 并公布了计算该允许值时的电网最小短路容量, 如果实际的短路容量与  $S_k$  不同, 则须按式 (13.2-8) 对规定的允许谐波电流加以换算和修正

$$I_n = \frac{S_{k \cdot \min}}{S_k} I_{nal} \quad (13.2-8)$$

式中,  $S_{k \cdot \min}$  为电网连接点实际可能出现的最小短路容量;  $I_{nal}$  为国标载列的  $n$  次谐波电流允许值。

国标中还规定了 0.38~10kV 配电网接入的三相换流器和交流电压调整器的最大允许容量。

8) 增加换流装置的脉动数。换流装置的特征谐波次数为

$$h = kP \pm 1 \quad (13.2-9)$$

式中,  $k$  为正整数;  $P$  为整流装置脉动数, kW。

理论上最大的谐波发生量为

$$I_h = I_1 \frac{1}{h} \quad (13.2-10)$$

增加换流数将使特征谐波次数提高, 相应的谐波电流减小。除了可对整流器本身进行改造外, 当有多台相同的 6 脉动换流器同时工作时, 可以使取自同一电源的换流变压器二次绕组之间适当地移相, 来达到提高整流脉动数的目的。设换流器台数为  $m$ ,  $m$  个二次绕组间的相互移相角为  $\alpha$ , 则  $m$ 、 $\alpha$  和  $P$  之间关系见表 13.2-18。

表 13.2-18 换流器  $m$ 、 $\alpha$  和  $P$  之间关系

$m$	1	2	3	4	5	一般
$\alpha$	—	30°	20°	15°	12°	$\alpha = 60^\circ/m$
$P$	6	12	18	24	36	6m

表 13.2-8 中,  $\alpha$  由二次绕组的不同接法或曲折接线实现。例如,  $\alpha = 30^\circ$  可由 Y 和  $\Delta$  联结的两个二次绕组实现;  $\alpha = 20^\circ$  可由一组 Y 联结加两组  $\pm 20^\circ$  移相的曲折绕组实现。整流变压器的一次绕组或共用一组, 或为相同的  $m$  组。

通常由于存在换流电抗, 而换流控制角也有一定的分散性, 特征谐波的发生量并不等于式 (13.2-9) 的计算结果, 而非特征谐波也有一定值。对于不可控换流器, 谐波含有率采用表 13.2-19 的数值。对于半控 (3 个晶闸管/3 个二极管) 和全控的换流器, 谐波含有率采用表 13.2-20 的数值。

表 13.2-19 不可控换流器的谐波含有率 单位: %

$h$	5	7	11	13	17	19	23	25
6 相	17.5	11.0	4.5	3.0	1.5	1.25	0.75	0.75
12 相	(2.0)	(1.5)	4.5	3.0	(0.2)	(0.15)	0.75	0.75
24 相	(2.0)	(1.5)	(1.0)	(0.75)	(0.2)	(0.15)	0.75	0.75

注 表中为相对于基波的百分率; 括号中数值为非特征谐波。

表 13.2-20 半控和全控换流器的谐波含有率 单位: %

$h$	2	4	5	6	7	8	10	11	12	13	17	19
6 相半控	35	22	20	—	14	10	3.0	7.0	—	5.0	5.8	5.4
6 相全控	—	—	20	—	14.3	—	—	8.7	—	7.6	4.9	4.3
24 相全控	—	—	(3.0)	(0.2)	(3.0)	—	—	9.1	(0.2)	7.6	(1.1)	(1.2)

注 表中为相对于基波的百分率; 括号中数值为非特征谐波。

## 8 谐波治理措施

### 8.1 无源吸收谐波装置

(1) 电容器串接调谐电抗器

变压器  $S_n \leq 2\text{MVA}$ , 见表 13.2-21 和表 13.2-22。

表 13.2-21 电容器串接谐波电抗器 (一)

$G_h \leq \frac{S_{sc}}{120}$	$\frac{S_{sc}}{120} \leq G_h \leq \frac{S_{sc}}{70}$	$G_h > \frac{S_{sc}}{70}$
标准电容器	电容器额定电压增加 10%	电容器额定电压增加 10%+谐波抑制电抗

表 13.2-22 电容器串接谐波电抗器 (二)

$G_h \leq 0.15S_n$	$0.15S_n \leq G_h \leq 0.25S_n$	$0.25S_n < G_h \leq 0.60S_n$	$G_h > 0.60S_n$
标准电容器	电容器额定电压增加 10%	电容器额定电压增加 10%+谐波抑制电抗	滤波器

表 13.2-22 中  $G_h$  为连接到有电容器组的母线上所有产生谐波装置 (静态变换器、变频器、速度控制器等) 的视在功率额定值的总和。  $S_{sc}$  为电容器组端的三相短路容量 (kVA)。  $S_n$  为系统中变压器视在功率额定值的总和。

串联调谐电抗器配比计算:

调谐频率  $f_h$  处

$$X_L = \frac{X_C}{h^2}$$

式中,  $X_L$  为电抗器基波感抗值;  $X_C$  为电容器基波容抗值。

在确定电抗器容量时, 应使实际调谐频率小于理论调谐频率 (即希望抑制的谐波频率), 以避免发生系统的局部谐振。还应考虑一定裕度, 因为当电容器使用时间较长后, 其介质材料会退化, 从而导致电容值下降, 引起谐振频率的升高 (见表 13.2-23)。

表 13.2-23 谐波频率的升高例证

理论调谐次数 (次)	理论调谐频率 (Hz)	实际调谐频率 (例) (Hz)	实际调谐次数 (例)	实际电抗器配比
3	150	135	2.7	13.7%, 可选 12.5%~14%
5	250	215	4.3	5.4%, 可选 4.5%~5.5%
7	350	315	6.3	2.52%, 可选 2%~3%

(2) 无源滤波器

1) 无源滤波器常见类型。

① 串联调谐滤波器。

② 双带通滤波器。

③ 阻尼滤波器。

2) 配电系统至少满足下列条件之一时, 可设置无源滤波器。

① 配电系统中具有相对集中的大容量 (如 200kVA 或以上) 非线性负载。

② 配电系统的自然功率因数较低, 需要作电容补偿。

③ 必须降低电压畸变以避免灵敏负载被干扰。

④ 必须降低电流畸变以避免馈线 (如电缆的中性线等) 与设备 (如电容器等) 过载。

## 8.2 有源滤波器

1) 有源滤波器常见类型。

① 并联有源滤波器 (工程中较为常用)。

② 串联有源滤波器。

③ 串并联复合型有源滤波器。

2) 配电系统至少满足下列条件之一时, 可设置有源滤波器。

① 配电系统中具有大容量 (如 200kVA 或以上) 非线性负载, 且变化较大 (如断续工作的设备等), 用无源滤波器不能有效工作。

② 配电系统的自然功率因数较低, 需要作电容补偿。

③ 必须降低电压畸变以避免灵敏负荷被干扰。

④ 必须降低电流畸变以避免馈线 (如电缆的中性线等) 与设备 (如电容器等) 过载。

3) 配电系统同时满足下列条件时, 宜设置复合滤波器。

① 配电系统中既具有相对集中且长期稳定运行的大容量 (如 200kVA 或以上) 非线性负载, 又具有较大容量的经常变化的非线性负载。

② 配电系统的自然功率因数较低, 需要作电容补偿。

③ 必须降低电压畸变以避免灵敏负荷被干扰。

④ 必须降低电流畸变以避免馈线 (如电缆的中性线等) 与设备 (如电容器等) 过载。

4) 静止无功发生器 (SVG)。

无功功率变化较大且谐波严重的系统中宜采用静止无功发生器, 在进行功率因数补偿的同时, 也能实现对谐波的抑制。

## 9 滤波技术

### 9.1 无源滤波器

(1) 串联调谐滤波器

串联调谐滤波器由电容器和电抗器串联而成, 被用于调谐较低的频率处。在调谐的谐波频率处, 电容器和电抗器具有相等的电抗值, 滤波器的阻抗是纯电阻性的。滤波器阻抗对较低的谐波频率的容性, 而对于较高的谐波频率是感性的, 这样的结果就使低于调谐频率时的阻抗特性变坏。

估算方法如下:

1) 确定电容器的容量  $Q_C$ , 例如等于谐波源需要的无功功率。

2) 计算电容器的电抗  $X_C = U^2 / Q_C$ 。

3) 滤除  $h$  次谐波电抗器的大小  $X_L = X_h / h^2$ 。

4) 电抗器的电阻为  $R = X_h / Q$ ,  $Q$  为滤波器的品质因数,  $30 < Q < 100$ 。

5) 计算如下

$$\begin{aligned} X_h &= \sqrt{\frac{L}{C}} \\ Q_{\text{Filter}} &= \frac{h^2}{h^2 - 1} Q_C \\ \frac{U_{C1}}{U_{\text{bus1}}} &= \frac{h^2}{h^2 - 1} \\ \frac{U_{\text{ch}}}{U_{\text{bush}}} &= -jQ \end{aligned}$$

$$U_{\text{bus1}} = \frac{h^2}{h^2 - 1} U_{C1} = U_{C1} - \frac{U_{C1}}{h^2} = U_{C1} - U_{L1}$$

式中,  $U_{C1}$  为电容器两端电压的基波分量;  $U_{\text{bus1}}$  为母线电压基波含量;  $U_{\text{ch}}$  为调谐频率下的电容器电压;  $U_{\text{bush}}$  为调谐频

率下的母线电压;  $X_h$  为滤波器的特征阻抗;  $Q$  为滤波器的品质因数。

(2) 双带通滤波器

双带通滤波器由一个主电容器、一个主电抗器和一个调谐装置串联组成, 调谐装置由一个调谐电容器和一个调谐电抗器并联而成, 这种滤波器的阻抗在两个调谐频率下达到低值。

(3) 阻尼滤波器

阻尼滤波器可以是 1 阶、2 阶和 3 阶的, 常用的是 2 阶的。一个 2 阶的阻尼滤波器由一个电容器、一个电抗器与一个电抗器的并联组合串联而成, 它在一个较宽的频率范围内呈现低阻抗。

当用来消除高次谐波 (17 次以上) 时, 阻尼滤波器被称为高通滤波器, 即在高频率时呈现低阻抗, 而在低频率时呈现为高阻抗, 因而低频分量不能通过。

阻尼滤波器具有品质因数  $Q$ ,  $0.5 < Q < 5$ , 通常调谐于  $h_f < h$ , 即 10.7, 16.5, ...

估算方法如下:

1) 确定电容器的容量  $Q_C$ , 例如等于谐波源需要的无功功率。

2) 计算电容器的电抗  $X_C = U^2 / Q_C$ 。

3) 滤除  $h$  次谐波电抗器的大小  $X_L = X_h / h^2$ 。

4) 电抗器的电阻为  $R = X_h / Q$ ,  $Q$  为滤波器的品质因数,  $0.5 < Q < 5$ 。

5) 计算如下

$$\begin{aligned} X_n &= X_{Ln} = X_{Cn} = \sqrt{\frac{L}{C}} \\ Q_{\text{Filter}} &= \frac{h^2}{h^2 - 1} Q_C \\ Z_F(h) &= \frac{R(hX_L)^2}{R^2 + (hX_L)^2} + j \left[ \frac{R^2 hX_L}{R^2 + (hX_L)^2} - \frac{X_C}{h} \right] \\ I_{La} &= \frac{Q}{\sqrt{Q^2 + (n/h)^2}} I_{Fh} \\ I_{Rh} &= \frac{hX_L}{R} I_{La} \end{aligned}$$

式中,  $h$  为 2 阶阻尼滤波器的调谐次数;  $n$  为非调谐下的谐波次数;  $X_n$  为调整电抗;  $Q_{\text{Filter}}$  为滤波器的容量;  $Z_F(h)$  为 2 阶阻尼滤波器任何次数下的阻抗;  $I_{La}$  为 2 阶阻尼滤波器的电抗器中的电流;  $I_{Rh}$  为 2 阶阻尼滤波器的电阻器中的电流。

### 9.2 有源滤波器

有源滤波器是一种用于动态抑制谐波、补偿无功的新型电力电子装置, 它可对大小和频率都变化的谐波以及变化的无功功率进行补偿, 其应用可克服 LC 滤波器等传统的谐波抑制和无功补偿方法的缺点。基本的工作原理是, 检测补偿对象的电压和电流, 经指令电流运算电路计算出补偿电流的指令信号, 该信号经补偿电流发生电路放大, 得出补偿电流, 补偿电流和负载电流中要补偿的谐波和无功等电流抵消, 最终得到期望的电源电流。

有源滤波器特点为: ① 实现了动态补偿, 可对频率和大小都变化的谐波以及变化的无功功率进行补偿, 对补偿对象的变化有极快的响应; ② 可同时对谐波和无功功率进行补偿, 且补偿无功功率的大小可做到连续调节; ③ 补偿无功功率时不需要储能元件, 补偿谐波时所需储能元件容量也不大; ④ 即使补偿对象电流过大, 有源滤波器也不会发生过载, 并能正常发挥补偿作用; ⑤ 受电网阻抗的影响不大,

不容易和电网阻抗发生谐振;⑥能跟踪电网频率变化,故补偿性能不受电网频率变化的影响;⑦即可对一个谐波和无功源单独补偿,也可对多个谐波和无功源集中补偿。

有源滤波器的补偿容量计算式为:  $S_A = 3EI_c$ 。有源滤波器的容量与补偿电路大小有关,因而与补偿对象的容量及补偿的目的有关;主电路中的器件的直流电压  $U_c$  与  $E$  之间的关系因不同产品而不同。当有源滤波器只补偿谐波时,  $I_c = I_h$ 。假如补偿对象为三相桥式整流器,其  $I_h = 0.25\% I_1$ , 故此时有源滤波器的容量  $S_A$  约为补偿对象的 25%。

#### (1) 并联有源滤波器

有源滤波器的主电路与负载并联接入电网的补偿方式。是目前应用最多的一种。它可以只补偿谐波,只补偿无功功率,补偿三相不对称电流,补偿供电电压波动;也可以是以上任意组合。它可以实现的功能最为灵活。但是由于交流电源的基波电压直接施加到变流器上,且补偿电流基本由变流器提供,故要求变流器具有较大的容量。谐波补偿效果与稳定性之间的矛盾是检测电源谐波电流控制方式的主要缺点。

并联有源滤波器的控制方式:①检测负载电流控制,其指令电流运算电路的输入信号来自负载电流,这是最基本的一种控制方式。在这种控制方式中,补偿电流能较好地跟踪指令电流。但是,在主电路电力半导体器件高频通断的过程中,会产生其工作频率附近一些次数较高的谐波。②检测电源电流控制方式,检测电源电流,用指令电路求出电源电流的谐波,反极性后作为指令电流对补偿电流发生器进行控制。这种方式的补偿结果好于检测负载电流控制方式的结果。但因放大倍数过大会使闭环系统不稳定;③复合控制方式,把上述控制方式结合起来,得到的控制方式。在这种控制方式中,指令电流信号主要来自负载电流,在其作用下,可对负载中的谐波电流进行较好的补偿。复合控制方式综合前两种控制方式的优点,是一种较为理想的控制方式。

主要技术指标有:额定补偿电流(一般为 20~300A);额定电压;滤波能力(THD;额定容量,一般小于 5%);滤波范围(如 2~25 次);全响应时间(如小于 40ms,时间越快越好);晶闸管开关最大频率(如 20KHz)等。虽然并联滤波器可以并联实现不同补偿电流的需求,但一般并联数目

有一定限制,控制比较复杂,所以并联有源滤波器一般适用于容量较小的谐波补偿场合。

#### (2) 串联有源滤波器

有源滤波器作为电压源串接在电源和谐波源之间。串联型有源滤波器与并联有源滤波器不同,主要用于补偿可看作电压源的谐波源,串联型滤波器输出补偿电压,抵消负载产生的谐波电压,使供电电压波形成为正弦波。串联与并联可以看作是对偶的关系。串联型有源滤波器的一个主要特点就是作为受控电压源工作。

串联有源滤波器的控制方式有:①检测负载谐波电压控制方式,串联型有源滤波器投入工作时,首先检测负载侧谐波电压,然后产生一个与之大小相等、方向相反的谐波电压进行补偿。串联型有源滤波器采用检测负载谐波电压控制方式的补偿效果要比采用检测电源谐波电流的控制方式好。②复合控制方式,在检测电源谐波电流和负载谐波电压控制方式的基础上,提出了一种新的复合控制方式。该控制方式的谐波电压指令信号是通过同时检测电源谐波电流和负载谐波电压得到的。它既具有上述两种控制方式的优点,又能克服它们各自的不足。

主要技术指标有:额定电压;额定配电容量(如 80kVA、500kVA、2000kVA);有源滤波器容量(如小于 5%额定配电容量);逆变器直流电源容量(如小于 8%有源滤波器容量);有源滤波器基波电压降(如小于 1%额定电压);有效谐波次数(如 2~25 次);谐波补偿率(如 92%);网侧谐波电压合格率(如大于 98%);响应时间(如小于 10ms);调整时间(如小于 10ms);功率损耗等。串联有源滤波器适合于容量较大的场所。

#### (3) 串并联复合型有源滤波器

并联型有源滤波器具有多方面的功能,但主要侧重于对负载侧电流所引起的谐波、无功和负序等补偿;而串联型有源滤波器则侧重于对电压谐波补偿。两种有源滤波器都具有一定的局限性。串并联复合型有源滤波器既能够补偿负载侧的谐波,也能补偿电网侧引起的谐波问题;既能补偿电流谐波,也能补偿电压谐波以及各种电压质量问题。

## 第3章 防静电工程<sup>①</sup>

### 1 防静电工程分级标准

一级标准为控制室内静电电位绝对值不大于 100V；二级标准为控制室内静电电位绝对值不大于 200V；三级标准为控制室内静电电位绝对值不大于 1000V。具体分级标准适用场所见表 13.3-1。

表 13.3-1 防静电工程分级适用场所

防静电级别	适用场合
一级	(1) 微电子电路和测试的场所 (2) 电子产品生产过程中操作一级静电敏感器件的场所 (3) 生物、医药工业中无菌洁净的工作实验室和生产场所 (4) 航空、航天、国防军事、国家安全以及首脑部门的信息管理和指挥中心
二级	(1) 以程控交换机为代表的各类通信机房 (2) 电子计算机大、中型机房、以及金融、电信系统的结算中心 (3) 重要经济部门，如电力调度、铁路、城市交通的自动化监控、调度系统 (4) 重要工业部门，如石油化工、冶金、汽车、电厂的生产和管理自动化系统 (5) 卫生系统的手术医疗设备的应用场所 (6) 精密电子仪器的测试和维修场所 (7) 大型电子演示厅和展播室
三级	(1) 除上述范围以外的一般计算机处理系统，以及计算机终端室 (2) 除了上述范围以外的电子器件和整机的组装调试场所 (3) 智能化建筑中计算机操作的办公场所以及重要的公共活动场所 (4) 存在外部电磁干扰，必须对环境中的电子设备和设施提供最基本防静电保护的场所

### 2 防静电工程设计

#### 2.1 防静电环境对电气设计的基本要求

1) 防静电工程用电负荷等级及供电要求应按《供配电系统设计规范》(GB 50052—1995)的规定执行。

2) 防静电工程中供电电源质量分级应按《电子计算机机房设计规范》(GB 50174—1993)的规定执行。

3) 防静电工程中电子设备和设施宜设置专用电力变压器，或采取专用低压馈电线路供电，其电源系统应和环境中的其他电力负荷分开，各种专用电源设备应尽量靠近电子设备。

4) 防静电工程中供配电系统设计，应根据供电电网的电源质量以及系统内可能产生的瞬变干扰和尖脉冲，选择采取抑制电源干扰的措施。

5) 低压配电系统中的单相负荷应均匀分配在三相线路上，应使三相负荷不平衡度小于 20%，并应根据负荷实际运行情况可能产生的谐波电流值，选择中线的导线截面，或谐波抑制措施。

6) 采用交流不间断电源系统供电时，应按国标《不间断电源设备(UPS)第2部分：电磁兼容性(EMC)要求》(GB/T 7260.2—2003)规定，选择不间断电源设备和系统设计。当采用静态不间断电源设备时，应采取限制谐波分量措施。采用直流开关电源电路设计时，应采取抑制高频辐射和传导骚扰的措施。关于控制设备的发射限值，依据电源设备所在场所的环境按国际标准《居住、商业和轻工业环境通用发射标准》(IEC 61000—6—3)，或《工业环境通用发射标准》(IEC 61000—6—4)等同执行。

7) 防静电工程中电源进线宜采用电缆埋地敷设方式，电源进线应按照相应国标规范采取防雷保护措施。低压配电线路应采用屏蔽导线、电缆或穿钢管的绝缘导线，并应屏蔽接地。

8) 防静电工程中电子设备和设施的电源线、接地线、信号线和通讯线应分别敷设。电源线应尽可能远离信号线和通讯线，避免并排敷设；当不可避免时，应采取相应的屏蔽措施。电子设备和设施的工作电源插座和普通电器插座应分别设置，并应有明显区别标志。

9) 防静电工程中电气设备应符合相应国家标准中对电磁兼容性的要求，电气设备外壳必须可靠接地。

10) 须接近电子器件的手持式工具(如电烙铁等)须做防静电接地。

保护接地导体与 ESD 接地导体须分别设置，两个不同类型接地导体之间应设置过电压保护装置，以防止过电压时的反击。

#### 2.2 防静电环境电气器具和设施的设计

1) 电子器件和组件的制造和装配场所：采用专用低压馈电线路供电，净化电源。对自动化生产流水线中可控硅控制设备的配电设计，必须采取谐波限制措施，限制中性导体电流进入电子电路。自动化生产流水线设备系统内大功率设备启动时的电场感应影响，应采取控制措施，防止机器设备和器件在生产过程中感应带电。自动化生产流水线上电子监控设备等单相负荷设备的供电，应均匀分配在三相线路上，尽量做到三相负载均衡。金属外壳应可靠接地，防止成为骚扰源。要求洁净环境的电子装配制造场合，洁净空调通风系统的运行须采取措施，降低其在环境中形成的静电场作用。

2) 电子器件和组件以及电子产品调试的场所(包括电子类科研实验室)：必须与其他电力负载的电气回路和接地系统实行隔离。调试系统电子仪器设备配置有变频设备、直流供电设备和可控硅控制设备等复杂设备时，应考虑采用隔离变压器或滤波器等设备，防止瞬变干扰、谐波的影响。同

① 引自上海市工程建设规范《防静电工程技术规程》(2007 年版)。

时须注意防止环境中静电放电骚扰源和电磁骚扰源之间的耦合干扰。电子仪器设备接地系统必须采用等电位连接, 控制系统设备之间的内部静电放电。电子产品调试使用的高低温箱, 须将高低温箱内壳外露可触及导体和外壳可触及导体实行可靠接地和等电位连接。对电子系统设备供电宜采用 TN-S 系统, 单相电力负荷应均匀分配在三相线路上, 并应限制接地干扰。电源输出端接地线和中性线之间的电位差不大于 1V。

3) 在电子整机和通信设备的制造和设备系统联动调试的场所: 当大功率设备启动时, 为防止对高精密电子仪器的使用产生干扰, 宜酌情对部分设备采用隔离变压器, 或采取局部屏蔽保护。联动调试需要共同接地平面时, 不应将产品部件置于金属板上调试。此时必须严格控制环境中的电场感应干扰源。

4) 大中型电子计算机应用场所、自动化系统中央控制室及设备机房: 此类场所宜采用不间断电源供电。设备电子电路板有金属屏蔽内壳时, 应对屏蔽壳体有良好的接地。相同频率的设备之间应进行等电位连接。设备内部严禁使用塑料线槽。外露可触及导体之间应良好搭接接地。应有控制场感应模式放电的措施。应限制人体带电操作导致设备系统内部的静电放电。

5) IC 通信类机房: 这一类场所是 48V 直流电源供电, 应解决低压电气回路的保护问题。机房内应做等电位接地网, 以防止设备外露可触及导体之间的电位差导致的场感应放电、设备间信息电缆连接导致的传输干扰, 以及机房布线导致的电源线、信号线和接地线之间的电感耦合或电容耦合造成的电气噪声的传播。IC 通信类设备在扩容、维修时, 应做好防静电放电接地。

6) 医疗器械的应用场所 (如手术室、拍片室等): 医疗用金属器械的应用场所应有良好等电位接地网, 以避免医疗金属器械因场感应造成的金属器械表面极化导致的相互间静电感应放电, 避免对环境中尘埃的静电吸附和人体的电击伤害, 以免影响医疗结果的正确诊断。医疗用电气设备的供配电设计, 应根据器械的电气特性采取限制谐波以及瞬变干扰的措施。

7) 火工品易燃易爆场所: 火工品易燃易爆场所的电气设计应遵守《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—1992) 的规定。火工品易燃、易爆场所的各电气设备的金属外壳应做等电位联结, 以限制电气设备间的场感应放电。

### 2.3 防静电放电接地配置

1) 防静电环境必须配置静电放电 (ESD) 接地系统。ESD 接地连接点系统不应与任何其他供配电目的所用的连接系统相容。

2) ESD 接地系统应设置供人体 ESD 接地、防静电地面和台面接地、特种工具 ESD 接地以及控制场感应静电放电接地的 ESD 接地连接点。ESD 接地连接点应被连接到 ESD 接地装置, 并应提供一个小于或等于  $0.1\Omega$  的低电阻通路。

3) ESD 接地连接点被连接到 ESD 接地装置, 应按下列规定进行 ESD 接地系统配置:

① 防静电地面的 ESD 接地连接点必须采用均匀设置的原则, 以保证整个地面环境处于相同的接地防护条件。ESD 接地系统在每个防静电工作区必须配置等电位接地网络, 或连接成闭合的接地回路。

② 防静电工作区内的 ESD 接地回路或接地网络应使用接地连接线连接到区域等电位接地端子, 或局部增设的专用接地装置上。

③ 对于需要进行重点屏蔽的信息技术设备, 其屏蔽壳体宜单独敷设接地连接线, 并连接到区域接地端子。

④ 防静电环境工程中, 每一个房间的 ESD 接地网络和 ESD 大地连接点的设置以及各种接地电气连接, 应根据设备布置和使用方式统一设计和施工。

4) ESD 接地连接系统可采用联合接地方式, 将 ESD 接地主干线连接到联合接地装置的总接地端子。当同时有功能接地或 PEF 接地主干线连接到总接地端子时, 联合接地装置接地电阻值不应大于  $0.5\Omega$ 。

5) ESD 接地连接系统也可采用分散接地方式单独配置专用 ESD 接地装置, 或因电子工艺的特种需要而配置局部原因使用的专用 ESD 接地装置。专项配置的 ESD 接地装置应远离建筑物的防雷接地装置, 二者的间距宜大于 20m, 应不小于 15m, 此时 ESD 接地装置的接地电阻值应不大于  $4\Omega$ 。当 ESD 接地装置与其他功能接地或 PEF 接地共用时, 其接地电阻值应不大于  $1\Omega$ 。

6) ESD 接地系统施工应符合下列规定:

① 连接建筑物防静电总接地端子的 ESD 接地主干线应选用单芯绝缘电线, 其导体截面积应不小于  $95\text{mm}^2$ , 接地端子应采用铜排完成等电位连接功能。总接地端子处设置的铜排尺寸不宜小于  $200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 8\text{mm}$ , 区域接地端子铜排的尺寸不宜小于  $150\text{mm} \times 80\text{mm} \times 6\text{mm}$ 。

② 各个防静电工作区 (设备机房) 应设置 ESD 区域接地端子, 分别通过接地支干线连接到本楼层的 ESD 等电位总接地端子, 接地支干线的导体截面积应不小于  $35\text{mm}^2$ 。当建筑物不划分楼层时, 区域接地端子应分别以接地支干线方式直接连接建筑物总接地端子。

③ 每个防静电工作区的接地回路或接地网络覆盖的面积不宜超过  $70\text{m}^2$ , 在各相邻的防静电工作区接地回路或接地网络之间, 按照每隔 5~6m 的间隔, 用 ESD 接地连接线进行连接, ESD 接地连接线的导体截面积应不小于  $10\text{mm}^2$ 。接地连接点必须位于网格的交点处。

④ 供人体、地面及操作装置 (仪器) 连接 ESD 接地系统的接地连接点应按照使用需求, 每个防静电工作台表面及其操作者和工具仪表均应单独接地。接地引线的长度不宜超过 6m。接地连接点可使用各种易于脱扣的专用连接器件或螺栓连接等方法, 应保证电气连接可靠。

⑤ 设置 ESD 接地连接点时, 应在各种连接端口、接地导体及接地连接点之间实现有效的连接, 在防静电系统内任意二点之间的通路电阻值应不大于  $0.1\Omega$ 。

⑥ ESD 接地连接点与闭合接地回路或接地网络之间, 应按照就近的原则以接地引线进行连接, 接地引线应使用多股铜芯塑料绝缘导线, 其导体截面积应不小于  $2.5\text{mm}^2$ 。

### 2.4 接地功能配置

(1) 一般接地装置

1) 防静电工作区应设置防静电接地系统。

2) 防静电工作区中由 TN 交流配电系统供电时, 应采用 TN-S 或 TN-C-S 系统的接地方式。

3) 信息技术设备根据其不同的性能及现场条件, 功能性接地分如下两种方式: 敷设专用的功能接地导体; 敷设兼有功能接地和保护接地功能的 PEF 导体。

4) 功能接地系统设计应以防雷接地系统为基础。接地



装置的设计应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—1994)和《电子设备和设施的接地、搭接和屏蔽设计指南》(GJB/Z 25—1991)的有关规定执行。

5) 功能接地宜采取联合接地方式, 优先利用与大地有可靠连接的建筑物结构内金属导体。联合接地方式中, 接地装置的接电阻值不得大于  $0.5\Omega$ 。

6) 信息技术设备和装置的专用功能接地应放射状连接, 放射状连接的功能接地导体应汇总连接到功能接地总接地端子。

7) 功能性等电位接地的基准电位应取自建筑物等电位总接地端子铜排, 接地导体与等电位总接地端子铜排作单点连接。功能接地的主干线应从建筑物总接地端子铜排或在靠近建筑物总接地端子铜排设置的功能接地端子上接引。

8) 功能接地主干线宜在专用弱电电缆通道内敷设。应避免与交流电源电缆长距离同径路敷设。功能接地干线引接到各信息技术设备所在楼层时, 应设置功能接地楼层等电位汇流铜排, 使设备的功能接地导体从楼层等电位铜排上应按连接。

9) 布置面积较大的信息技术设备系统应划分区域, 并分别设置区域等电位汇接铜排, 区域等电位汇接铜排之间应实施等电位连接。区域等电位汇接铜排应采用接地支干线与楼层等电位汇流铜排可靠连接。

10) 功能接地导线两端的连接应有良好的电气接触, 宜采用焊接方式; 当需要采用塔接机械固定连接方式时, 其固定的螺母数量每处应不少于 2 个。

11) 易燃、易爆特写环境中的防静电接地除应符合本规程的规定外, 还应符合国家有关特写环境防静电接地的标准和规范的规定, 或相关行业标准的有关规定。

#### (2) 专用功能接地配置

1) 专用功能接地为信息技术设备(装置)提供一个低电阻的基准电位平面, 消除系统内部的基准电位差, 抑制工频地电位差异引发的对信息技术设备和装置的干扰。

2) 使用高精密度电子仪器的设备调试场所, 以中央处理器为中心的计算机系统应用场所, 以及自动化控制的航空、航天等调度指挥系统, 其系统设备应用场所均需配置专用功能接地。

3) 在存在下列情况时, 可局部增设专用于功能接地的接地装置:

① 以建筑物基础作为接地极, 但其接地电阻值无法达到不大于  $0.5\Omega$  的条件。

② 属既有建筑物或场地改造, 且不具备设置联合接地条件。

③ 按信息技术设备自身性能规定, 必须增设功能接地装置。

4) 增设的功能接地系统接地体必须远离防雷接地系统的接地体, 两者应保持 20m 以上的间距。各种功能接地系统的接地体之间应保持 5m 以上的距离。

5) 限于现场环境条件, 功能性接地的局部接地极无法按规定与建筑物保持距离时, 可考虑采取其他措施减轻雷电的电磁干扰效应, 如安装接地极保护器和电源保护器件等。

6) 单独设置用于功能接地的局部接地极时, 其接地电阻应不大于  $2\Omega$ 。

7) 功能接地主干线用于连接区域功能接地端子及建筑物总接地端子。功能接地主干线应使用单芯绝缘电线, 其导体截面积应不小于  $95\text{mm}^2$ 。

8) 当功能接地主干线连接到建筑物总接地端子或增设

的局部功能接地极时, 在总接地端子或功能接地极处应配置总等电位接地端子铜排, 其尺寸不宜小于  $200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 8\text{mm}$ 。

9) 功能接地支干线用于区域等电位连接铜排之间进行连接, 其导体截面积应不小于  $35\text{mm}^2$ , 区域等电位连接铜排应在单独的接地箱内绝缘固定设置, 不得配设在电源总配电箱(柜)及分配电箱内, 区域等电位连接铜排的尺寸不宜小于  $150\text{mm} \times 80\text{mm} \times 6\text{mm}$ 。

10) 从区域等电位连接铜排就近连接到信息技术设备的功能接地线应使用屏蔽导线, 其截面积应满足提供低阻抗通的需要, 使系统内任意两接点之间通路电阻值小于  $0.02\Omega$ 。

11) 在防静电工程中高频通信设备的信号接地应采用多点接地方式, 并按《电子设备和设施的接地、搭接和屏蔽设计指南》(GJB/Z 25—1991) 多点接地和高频网络设计的规定执行。频率界限应按国军标 GJB/Z25 规定。

12) 各种信息技术设备的接地线应从功能接地专用接地箱内引出, 并应使用铜芯绝缘导线敷设。

#### (3) PEF 接地配置

1) PEF 接地是指将放射状连接的功能接地和保护导体的点状接地点(相关配电柜中 PE 母线)相连接, 通过连接到建筑物总接地端子或增设的局部接地极的一个单独的专用绝缘导体(PEF 接地主干线)接地。

2) PEF 接地导体的截面积必须同时符合上述功能接地导体的相应要求以及《电气设备的选择和安装——接地配置、保护导体和保护联结导体》(GB 16895.3—2004) 中保护导体的相应要求, 满足提供低电阻通路的需要。

3) 当 PEF 导体回路万一开路, 同时可触及的可导电部分之间的预期接触电压应不超过交流 50V 或直流 120V。

4) 当直流供电电流和信号电流在 PEF 导体中产生电压降, 导体的截面积应能使电压降最大值限制在 1V。

5) 若以设备机架作为 PEF 导体的结构部件, 当机架的排列长度达到 10m 或更长时, 宜将其 PEF 导体从机架两端连接到 PEF 接地线上。

6) 电缆的信号导线及相关屏蔽层, 在电缆从室外进入室内通过分界点处要加以保护或接地。

7) 在采用 PEF 接地方式时, 各种信息技术设备宜分区域设置区域接地铜排, 并连接到集中设置的弱电接地总接线端子铜排。弱电系统接地汇流铜排应通过接地主干线, 与综合接地网的弱电专用接地端子连接, 宜采用焊接法实施可靠连接。

8) 由建筑基础钢筋网组成综合接地网, 若因大地条件不良, 单纯以基础钢筋网不能达到设计要求时, 可辅设人工接地极等措施。

### 2.5 防静电环境管道工程

1) 防静电环境管道工程设计应区别输送粉体、液体、气体三种不同的管道, 以及不同性质的被输送材料, 分析测算管道输送过程中静电的产生以及控制静电危害的必要条件, 确定输送过程的允许参数及管径。

2) 防静电环境管道工程设计对管道和相关装置的材料选择应适应工艺上的要求, 并根据静电序列选择有利于消除静电的合适材料。气力输送粉体的管道宜选择与粉体材料相同或静电序列靠近的材料。多数管道和相关装置应选择位于静电序列中段的金属材料; 或选择耗散静电性能较好、体积电阻率小于或等于  $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$  的材料; 或选择在绝缘材料制成的管道内壁和外壁涂敷体积电阻率小于或等于  $1 \times$



$10^6 \Omega \cdot \text{cm}$  的防静电覆盖层,可涂敷完全覆盖层,也可涂敷螺旋状不完全覆盖层,涂敷厚度应为  $0.1 \sim 0.2 \text{mm}$ 。

3) 防静电环境管道工程设计应根据输送过程的允许参数合理选择管道的管径,多数管道的末端应设计配置大于管径的松弛容器,容器大小应足以消除材料在输送过程中积累的静电。管道设计中还应防止管道弯曲、管道收缩部位以及管道输送进入料斗、容器时产生的附加静电,必须采取消除附加静电的相应措施。这类措施应包括:管头应选择  $45^\circ$  斜截面;管道输送进入料斗应使料斗具有斜面;管道输送进入容器应将管道延伸到容器底部,并沿底面水平方向注入;输送物料注入料斗或容器,料斗或容器内不得有任何不接地的孤立导体。

4) 防静电环境管道工程必须按下列规定进行接地配置设计:

① 金属材料管道以及其他所有能产生静电的相应配套设施和管道,如输送设备、通风和排风管道及其装置等,都必须连接成连续整体,并予以接地。管道两端均应接地;每隔  $30 \text{m}$  距离应设置 ESD 接地连接点;当管道之间采用法兰或沟槽连接,中间存在有非导体材料隔离时,应将隔离的间隙跨接起来接地。平行管道相距  $100 \text{mm}$  以内时,每隔  $20 \text{m}$  应采用连接线相互连接起来。管道与管道或管道与其他金属物件交叉或接近,且其间距小于  $100 \text{mm}$  时,相互间也必须用连接线连接起来。

② 管道选择非导体材料制成时,管道接地应在管外或管内绕以金属丝网,并将金属丝网予以接地。管道选择耗散静电性能较好的材料制成,或管道相关装置选择夹有导电纤维编织的材料制成时,管道及其装置的接地应选用金属接地连接件,应使金属接地连接件与管道及其相关装置之间保持足够的接触面积。防静电环境中体积电阻率大于  $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  高绝缘材料制成的管道及其相关装置不得采用导体直接接地。

③ 防静电环境管道工程设计除了对产生静电的管道和相关装置以及相应的配套设施进行接地配置外,还必须对不连接但相邻近的用于建筑装饰装修的金属部配件以及邻近范围内的各种金属物件进行接地配置。在管道及其相关装置连接成整体接地以后,其邻近部位不允许存在会导致静电感应放电与地相绝缘的金属导体。管道工程中用来喷射、灌注液流或气体的工具应在使用前与管道相关装置跨接起来,并予以接地。

5) 防静电环境管道工程接地不宜与 ESD 接地配置中的接地干线相连接。防静电环境管道工程的接地应利用建筑物电气装置的保护连接导体,或根据就近接地适用原则配设若干辅助保护连接导体。防静电环境管道工程及其相关装置接地应配设若干 ESD 接地连接点,每个 ESD 接地连接点必须有各自的接地线同保护连接导体或辅助保护连接导体的接地干线相连接。上述 ESD 接地线和接地干线必须有足够的机械强度和化学稳定性,接地线截面积应不小于  $6 \text{mm}^2$ ,接地干线截面积不应小于  $35 \text{mm}^2$ 。ESD 接地线和接地干线之间应采用树枝状方式连接,接地接点之间的通路电阻值应小于  $0.03 \Omega$ 。

6) 防静电环境管道工程及其相关装置的 ESD 接地连接点构造,应设计配置金属接地连接板和金属连接螺栓,应符合下列规定:

- ① 金属接地连接板应焊接在金属管道外壁上。
- ② 金属接地连接板应选择与金属管道外壁相同材质。
- ③ 金属接地连接板的截面应不小于  $50 \text{mm} \times 10 \text{mm}$ ,接

地螺栓规格应不小于 M10。当管道配有保温层时,金属接地连接板应伸出保温层外,最小有效长度应不小于  $60 \text{mm}$ 。

④ 非金属管道的金属连接板应使用导电胶粘剂紧密粘合在管道外壳上面。

## 2.6 防静电环境课题和通风工程

1) 防静电环境应选择有利于静电耗散的环境湿度控制,最好应选择控制环境相对湿度为  $50\% \sim 60\% \text{RH}$ 。当设计选择的空气调节系统配置不能满足上述湿度控制条件时,宜选择配设环境增湿和除湿的装置。

2) 防静电环境空气调节系统应选择金属风管,风管系统及其相关装置应连接成连续整体并予以接地,设置 ESD 接地连接点,接点之间距离应不大于  $30 \text{m}$ 。当管道配有保温层时,金属接地连接板应伸出保温层外,最小有效长度为  $60 \text{mm}$ 。管道保温层的表层材料应选择金属箔。

3) 防静电环境空气调节系统的送风口、回风口和排烟风口,应选择金属材料或符合防静电材料性能标准的材料制作,并应接地。配设吸顶空调设备或靠近防静电安全工作台配设的柜式空调设备外壳应接地,当空调设备采用塑料外壳时应加装金属防护罩并予以接地。

4) 防静电环境空气调节系统设计选择下送上回气流组织,并选择利用高架防静电活动地板架空空间作静压箱,应根据空气流速和送风量确定防静电活动地板架空高度和均匀配设送风口,并应与防静电环境装饰装修工程设计协调,要求对架空层空间六面体采取防静电放电控制相关措施。

5) 防静电空气调节系统设计选择上送侧回气流组织,应根据空气流速和风量确定回风口面积和配设位置,并应与防静电环境装饰装修工程设计协调,要求对回风口周边的电子器件、组件和仪器设备操作工位以及周边墙面采取防静电放电控制相关措施。此时配设在顶棚内的金属风管除了风管应接地外,金属顶棚骨架必须接地。

6) 洁净环境净化空调系统设计应充分估计空气净化过程中伴随产生的静电场对尘埃的静电吸附作用,确定空气流速和送风量应考虑静电吸附作用因素,并对净化空调系统的管道及其相关装置采取接地连接措施。配置在净化空调系统末端的各级高效过滤器应配设专用接地线就近连接到相应的接地干线,接地线截面积应不小于  $6 \text{mm}^2$ 。

7) 洁净环境特别是封闭的空间环境空气净化设计必须与整体环境的建筑装饰装修和建筑电气工程设计协调,应相互兼容控制场感应模式静电放电。

8) 防静电环境排烟系统配设在电子器件和组件装配工位的柔软风管和吸风罩必须选择金属材料或符合防静电材料性能标准的材料制作,不得选用表面电阻率大于  $1 \times 10^{12} \Omega / \text{m}^2$  的非金属材料制作。风罩和风管应配设专用接地线就近连接到相应的接地干线。

## 2.7 防静电安全工作台

1) 防静电环境中操作静电敏感器件和组件,包括筛选、检验、制造、电子装配、处理、维修、失效分析、包装等活动;静电敏感器件和组件以及各种电子类产品检测调试;操作电子精密仪器、设备实施信息化管理、自动化控制和远程监控,光电子和生物类制品制造过程中必须限制尘埃静电吸附的操作工位;火工品制造过程中必须控制引燃引爆能量的操作工位等,都必须配置防静电安全工作台。

2) 防静电安全工作台台面构造应具有导静电迅速、安全、有效泄放到大地的功能。

3) 防静电安全工作台必须设置 ESD 接大地连接点。供防静电台面接地的接地连接端子应压接在台面的导电构造层表面,接触面积应不小于  $20\text{cm}^2$ ,接地引线截面应不小于  $2.5\text{mm}^2$ ,并应在接入 ESD 接地配置系统之前串联  $1\text{M}\Omega$  限流电阻。供人体佩戴防静电腕带接地的接地端子应设在工作台正面两侧,由单独用截面不小于  $2.5\text{mm}^2$  的接地引线进行接地连接。供电烙铁、金属测量探头以及电子工艺要求接地的工器具接地,其接地连接端子应根据工艺需求设置在工作台合适位置,可选择几个接地连接端子串联起来用一根接地引线进行接地连接,同时串联的接地连接端子应不多于 4 个。当工作台的抽屉、斗橱用于存放静电敏感器件、组件和电子产品时,应在其各个组成部位之间进行可靠电气连接,并应单独设置 ESD 接大地连接点进行接地连接。

4) 防静电安全工作台的结构制式、细部配置和外型构造应根据使用要求,特别应满足工艺需要进行设计,可选择全钢质结构,也可选择全木质结构,但多数场合宜选择钢质构架和木质台面的钢木混合结构组成。钢质或木质构架外露表面应涂刷防静电树脂漆,其漆膜表面电阻值应符合耗散静电性能三级限值标准。防静电安全工作台置于防静电地面,应衬垫导电橡皮支脚。

5) 防静电台面选择钢质构造的,其台面板应选择防静电饰面预涂金属板,或选择钢板表面涂刷防静电树脂漆,台面的接地连接件必须接触到金属板表面。防静电台面选择木质构造的,其台面板的组成可选择木质人造板材或有机材质板材作基层,应在基层表面满批导电腻子,并铺设接地金属网格,台面的接地连接件应压接在接地金属网格表面,台面板的饰面应涂刷防静电树脂漆。

钢质防静电台面板严禁饰面防静电涂层透底,木质防静电台面板严禁用外露金属材料制作边框。

防静电台面板选择用防静电双层复合胶板,或选择用三聚氰胺防静电饰面板制作,宜在短期使用的场所或在规定使用环境条件为相对湿度大于  $65\%\text{RH}$  的情况下应用。

6) 当工艺要求设计选择不锈钢金属台面时,此类防静电安全工作台设计应符合下列规定:

① 不锈钢台面拼接部位之间必须有良好搭接,不锈钢台面应成为电子设备系统共同接地平面,必须有良好的功能接地,宜选择 PEF 接地方式。接大地连接点应配设在不锈钢台面位置,不得借助不锈钢管支柱接地。接地引线应选择屏蔽导线,导线截面积不宜小于  $6\text{mm}^2$ 。

② 不锈钢台面应选用防静电胶板包边,包边宽度宜为  $150\sim 200\text{mm}$ 。防静电胶板性能应符合建筑室内防静电材料和制品一级质量等级性能标准。

③ 此类防静电安全工作台应用环境必须严格控制静电场作用,以及场感应静电放电。

### 3 防静电工程材料

1) 防静电环境装饰装修的饰面用料应选择具有一层表面电阻率大于或等于  $1\times 10^5\Omega/\text{m}^2$  和小于或等于  $1\times 10^{12}\Omega/\text{m}^2$  的耗散静电性能面层,且具有体积电阻率大于或等于  $1\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}$  和小于或等于  $1\times 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$  的体积导电型内部结构的建筑室内防静电材料和制品。应严禁选择表面电阻率大于  $1\times 10^{12}\Omega/\text{m}^2$  或体积电阻率大于  $1\times 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$  的绝缘装饰材料和制品。

防静电环境装饰装修工程中设置导电构造层必须选择表

面电阻率小于  $1\times 10^5\Omega/\text{m}^2$ ,体积电阻率小于  $1\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}$  的导静电材料和制品。

防静电环境装饰装修工程中设置绝缘隔离层或各种绝缘衬垫必须选择表面电阻率大于  $1\times 10^{12}\Omega/\text{m}^2$ ,体积电阻率大于  $1\times 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$  的绝缘装饰材料和制品。

2) 防静电环境建筑装饰装修材料和制品应根据不同的环境使用要求和环境构成进行选择,根据防静电环境质量分级标准选择建筑室内防静电材料和制品应符合下列规定:

① 一级质量标准建筑室内防静电材料和制品,其体积电阻率应大于或等于  $1\times 10^5\Omega\cdot\text{cm}$ ,小于或等于  $1\times 10^9\Omega\cdot\text{cm}$ ;表面电阻率应大于或等于  $1\times 10^6\Omega/\text{m}^2$ ,小于或等于  $1\times 10^{10}\Omega/\text{m}^2$ 。

② 二级质量标准建筑室内防静电材料和制品,其体积电阻率应大于或等于  $1\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}$ ,小于或等于  $1\times 10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ ;表面电阻率应大于或等于  $1\times 10^5\Omega/\text{m}^2$ ,小于或等于  $1\times 10^{11}\Omega/\text{m}^2$ 。

③ 三级质量标准建筑室内防静电材料和制品,其体积电阻率应大于或等于  $1\times 10^4\Omega\cdot\text{cm}$ ,小于或等于  $1\times 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ ;表面电阻率应大于或等于  $1\times 10^5\Omega/\text{m}^2$ ,小于或等于  $1\times 10^{12}\Omega/\text{m}^2$ 。

3) 防静电环境建设工程设计选择建筑室内防静电材料和制品,必须规定电阻率特性参数的上限和下限,同时应标明选择建筑室内防静电材料和制品的环境条件参数:温度和相对湿度。电阻率上限应与环境相对湿度控制的最高值相对应;电阻率下限应与环境相对湿度控制的最低值相对应。

4) 防静电地面工程应根据设计确定的防静电地面系统性能目标参数选择相应的建筑室内防静电材料和制品。必须做试样,在试样被接地(可能接地的点应距离测点  $1\text{m}$ )的情况下,应在实验室内充分绝缘的支承物上进行试样检测,根据试样检测结果确定。

5) 防静电环境建设工程应选择长效型建筑室内防静电材料和制品。长效型建筑室内防静电材料和制品应具有下述功能特性:必须持续 10 年以上能长时期保持防静电放电控制性能,其衰减值始终控制在限值标准以内;必须不受环境条件(主要是指环境温度和湿度变化)的影响,能稳定保持防静电放电控制性能,其变化值始终控制在限值标准以内。

### 4 防静电工程检测<sup>①</sup>

1) 防静电地面应为防静电环境质量检测的主控性子项。防静电地面子项检测应有两项关键性目标参数:对地电阻算术平均值和摩擦起电电压最大值;一项有条件关键性目标参数:对地电阻值极差  $\Delta R_G$  和标准差  $SR_G$ ;一项非关键性目标参数:表面电阻算术平均值。

2) 防静电安全工作台台面应为防静电环境质量检测的主控性子项。防静电工作台台面子项检测应有三项关键性目标参数:对地电阻算术平均值,摩擦起电电压或感应起电电位最大值,ESD 接大地连接点低电阻通路电阻值;一项非关键性目标参数:表面电阻算术平均值。

3) 防静电墙柱面应为防静电环境质量检测的有条件主控性子项。当作为有条件主控性子项检测时,应有一项关键性目标参数:摩擦起电电压或感应起电电位最大值。当作为一般性子项检测时,应有一项关键性目标参数:摩擦起电电压最大值。当防静电环境六面体实施整体电气连接,防静电墙柱面应作为主控性子项检测时,应有一项关键性目标参

① 产品静电抗扰度测试参见 4.4。

数;对地电阻算术平均值;一项有条件关键性目标参数:对地电阻值极差  $\Delta R_G$ ;两项非关键性目标参数:摩擦起电电压最大值,表面电阻算术平均值。

4) 防静电柜、门窗和隔断饰面应为防静电环境质量检测的有条件主控性子项。当防静电环境六面体实施整体电气连接,防静电柜、门窗和隔断饰面应作为主控性子项检测时,应有三项关键性目标参数:对地电阻算术平均值,摩擦起电电压或感应起电电位最大值,ESD 接大地连接点低电阻通路电阻值;一项非关键性目标参数:表面电阻算术平均值。当作为有条件主控性子项检测时,应有两项关键性目标参数:摩擦起电电压或感应起电电位最大值,ESD 接大地连接点低电阻通路电阻值。当作为一般性子项检测时,应有一项关键性目标参数:摩擦起电电压最大值。

5) 静电放电(ESD)接地配置应为防静电环境质量检测的主控性子项。ESD 接地配置子项检测应有两项关键性目标参数:其一是 ESD 接大地连接系统通路电阻值;ESD 接地导体上存在感应电流最大值不应超过 30mA,ESD 接地连接系统任意两接点之间产生交流电压降不应超过 10mV。当单独配设 ESD 接地装置时,应加测一项关键性目标参数:ESD 接地装置接地电阻值。

6) 功能接地包括 PEF 接地配置,应为防静电环境质量检测的有条件主控性子项。当设备系统配设 PEF 接地或专用功能接地导体,应作为主控性子项检测时,应有四项关键性目标参数:功能接地系统低阻抗通路电阻值;功能接地导体上的杂散电流值,或直流供电电流在 PEF 导体中产生的电压降;互连设备可触及导电部分之间的噪声电压,或功能接地系统相距较远的两点之间噪声电压;功能接地接线端子和设备外部可导电部分之间的电阻值。当单独配设专用功能接地装置时,应加测一项关键性目标参数:功能接地装置接地电阻值。

当设备系统没有配设功能接地装置时,应将设备系统的保护接地导体作为防静电环境质量检测中的环境条件检测,应有四项定量目标参数:保护接地导体上杂散电流值;保护接地接线端子和设备外部可导电部分之间的电阻值;互连设备的可触及导电部分之间噪声电压;设备外壳或机柜交流对地电压。

7) 防静电环境中电力、电子设备系统电源配置质量,应作为防静电环境质量检测中的环境条件检测,应有六项定量目标参数:供电电源电压允许偏差;三相电源线上线电流之差的平衡度;中性导体上流动的电流值;中性导体与接地导体之间的电连续性;设备电源配置系统接地干扰值(在电源输出座中性线和接地线之间电位差);交流输入端和设备外壳或机柜之间的电阻值。

当防静电环境中电力、电子设备系统电源配置作为防静电环境建设工程专项设计的组成部分时,电力、电子设备系统内电源配置质量应作为防静电环境质量检测的主控性子项,必要时应对电源系统的谐波电流和电压值进行专项检测。

8) 防静电环境管道工程防静电放电控制性能应为防静电环境质量检测的一般性子项,在特种易燃、易爆环境应作为主控性子项检测。作为一般性子项检测应有一项关键性目标参数:管道外壁和管道系统危险部位的起电电位最大值。作为主控性子项检测还应应有两项关键性目标参数:管道外壁

的充电电流和接地线上放电电流值;管道接地接点之间的通路电阻值和管道连接部位的跨接电阻值。

9) 控制室内防静电电位应为防静电环境质量检测最关键的主控性子项。根据对 6 种模式静电放电的分析,控制室内静电电位子项应通过以下多方面检测予以实施:

① 应检测人体从事各种操作,包括人体在地面上行走到工位接触器件或启用设备时对地静电电位。每一检测单元随机抽检应不少于 3 位,每次抽检对象应处于不同工位和从事不同操作。应采用非接触式静电电位表测量,测量时静电电位表应靠近人体手指和袖口的部位。每次检测应读取对地静电电位值读数不少于 5 个,并应从中记取最大读数值。

② 应检测人体手持金属物件(如金属镊子、金属插接片、金属螺丝批等工具)进行操作,或在操作部位周边 300mm 以内有金属物体存在时,在金属物体表面感应起电的对地电位。每次抽检各类金属物体,应采用非接触式静电电位表分别测量和读取其表面感应起电的对地电位值,并应从中记取最大读数值。

③ 应检测存放电子产品的容器或金属小推车在搬运途中,以及在机房或实验室内易于移动的物体如椅子、金属构架和机柜移位,因摩擦或感应起电的对地电位。每一检测单元各类可移动物体应随机按常规的状态、动作和途径移动,模拟检测不少于 3 件。对饰面为绝缘材料的物体应测量其沿面摩擦;对饰面为金属材料的物体应测量其表面极化的对地电位值。应记取各类可移动物体的对地电位最大读数值。

④ 应检测各类电力、电子设备在开机工作状态,以及空调通风系统的送回风口周边和邻近的防静电工作面、或外露金属物件表面、或绝缘装饰装修材料沿面的场感应对地电位。每一检测单元中不同类别的电力、电子设备电场感应应全数检测,同一类别的电力、电子设备电场感应应随机抽检不少于 3 件。应采用非接触式静电电位表靠近被测部位测量,特别应测量断面异常变化的部位,每次测量应读取场感应对地电位值读数不少于 5 个,并从中记取最大读数值。

⑤ 应检测电子产品制造过程设备系统的金属构件带电,或电子器件装配过程使用的工具(如电烙铁)带电,或电子器件和组件调试过程使用的测试夹具带电的对地电位。每一检测单元中不同类别的设备和工器具应在通电后全数检测,同一类别的设备和工器具应随机抽检不少于 3 件。每次用非接触式静电电位表测量,应读取对地电位值读数不少于 3 个,并从中记取最大读数值。

⑥ 应检测自动化生产线上电子器件和组件在加工、处理和传输过程中器件带电的对地电位。每一检测单元中同一类别的自动化生产线应随机抽检不少于 3 件,不足 3 件的全数检测。每次用非接触式静电电位表测量,应在自动化生产线的不同部位读取器件带电的对地电位值不少于 3 个,并从中记取最大读数值。

10) 控制室内静电电位的各项检测必须在环境相对湿度小于或等于 60%RH 的条件下进行;反之,控制室内静电电位检测结果应判定无效。

控制室内静电电位的各项检测又必须在接近真实的环境使用条件下进行;反之,控制室内静电电位检测结果的有效性应待复测判定,或判定局部环境有效。

## 第4章 电子与信息系统的抗干扰技术

### 1 电子与信息系统的抗扰度

#### 1.1 抗扰度的基本考虑

电子与信息系统在产品设计和生产时均有明确的性能指标。通常,这些产品在实验室里完全能达到其性能指标,但在实际的使用环境中,却常常出现这样那样的问题。电子与信息系统抗扰度能力差往往是其中的一个重要原因。所谓电子与信息系统的抗扰度是指其面临电磁骚扰不降低运行性能的能力。电磁骚扰是指任何可能引起电子与信息系统性能降低的电磁现象。电子与信息系统都有自己的工作信号,当周围环境的电磁骚扰混入到它的工作信号中时,电子与信息系统的工作就要出现偏差;当电磁骚扰能量很大时会损坏元器件,或使某些部件失效。电磁骚扰可能以辐射形式出现,也可能以传导形式出现,还可能以静电形式出现。电子与信息系统的抗扰性能在某种程度上反映了其工作的可靠性。

电子与信息系统在设计 and 生产时一定要考虑到它的使用环境,不同的使用环境其电磁环境是不同的,按实际使用环境,大致上有八个典型的使用环境:①农村居民区;②城市居民区;③商业区;④轻工业区;⑤重工业区;⑥交通区;⑦通信中心;⑧医院。

从标准制定的角度,人们更愿意根据电磁骚扰的情况将环境分为若干个等级,以便进行测试和评定。针对可能面临的使用环境,要预先考虑和设计其抗扰度等级。电磁兼容既是一项提高产品可靠性的技术,也是一项涉及技术和成本平衡的技术。电磁兼容考虑不充分或措施不力,将达不到效果;反之,如果措施过多则会使成本上升。任何一家企业都将努力控制成本以提高利润。因此,良好的电磁兼容设计和措施一定要兼顾技术和成本。

产品的抗扰度限值的确定要考虑到相关的骚扰限值,抗扰度限值要比相关的发射限值高,抗扰度限值与发射限值之差被称之为电磁兼容裕量,即电磁兼容裕量=发射裕量+抗扰度裕量,其关系如图 13.4-1 所示。

图 13.4-1 也给出了抗扰度电平和抗扰度限值与独立变量之间的关系。

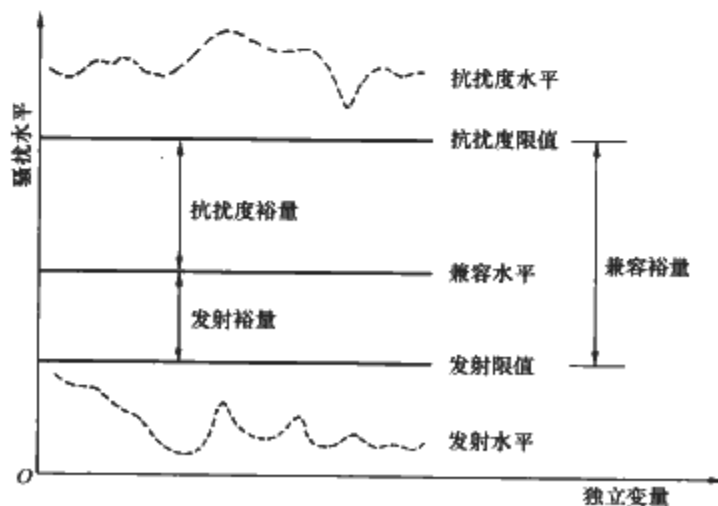


图 13.4-1 发射与抗扰度限值关系图

没有电磁兼容裕量的系统是难以可靠工作的,但电磁兼容裕量太大则使制造成本过高。通常,产品标准针对产品的类别或典型使用环境来制定限值并规定具体的测试方法,电磁兼容测试结果一定要和相应的测试方法结合才有意义。举例来说,一般的信息技术产品(如计算机等)的辐射骚扰要求在 10m 距离测量,若一台测试合格的计算机放在密集使用电器的场所,则对邻近的电器设备而言,因电磁场的衰减与距离成反比,这台计算机的电磁辐射可能要超出标准规定的限值,因为邻近电器设备的距离可能远小于 10m,换言之,产品在实际工作中遇到的情况可能比实验室测试条件严酷。电磁兼容要考虑到技术和经济的双重要素,标准考虑的是一般情况,它解决了大多数问题;对于特殊情况却要采取特殊措施,不要误认为产品满足了标准要求,就不可能再有电磁兼容问题了。

#### 1.2 批量生产的考虑

对于单个产品和单个工程项目可以单独地测试评价其电磁兼容性能。但是对于大批量生产的产品,鉴于电磁兼容试验属于产品型式试验,人们采用抽样检验的方法来解决对批量产品的合格评定。实际生产中,产品有离散性,即使在同一条生产线以同样的工艺控制,也不能保证其产品的电磁兼容特性完全一致。总体而言,产品的电磁兼容特性符合一定的统计分布规律。

抗扰度电平(immunity level)系指将某给定的电磁骚扰施加于某一装置、设备或系统,而其仍能正常工作并保持所需性能等级时的最大骚扰电平。

一批产品是有许多个单个产品组成的,对于某一个产品,其抗扰度电平是一个独立随机变量。大量的实验结果表明,一批产品的抗扰度电平呈正态分布(骚扰电平也同样呈正态分布);理论表明,一个随机变量如果受到大量相互独立随机因素的影响,而单个因素在总体的影响中所起的作用是均匀地小,那么,这个随机变量就服从或近似服从正态分布。电磁兼容的抗扰度电平属于这种情况。

在实际中判断批量生产的产品的发射或抗扰度是否合格,往往只抽取一小部分样品进行测试,然后通过一定的统计学分析,以一定的置信概率确定这批产品是否合格。电磁兼容的合格评定采取 80%/80% 准则,即在 80% 置信度下,总体中 80% 的产品符合限值要求。

抽样可分为计量抽样和计数抽样,计数抽样只对样本给以“0”(不合格)或“1”(合格)判断,即只对样品是否合格作出判断,计数抽样的数理统计符合二项式分布。

以二项式分布为依据的统计评定方法常应用于抗扰度试验。其步骤如下:

① 确定试验的样品数。这种统计评定方法应该对于不少于 7 个的某种型号的样品进行试验。

② 判定一批产品合格的方法。判定一批产品合格的方法是在样本量为  $n$  的情况下,允许超过标准规定限值的产品数为  $c$ ,其关系见表 13.4-1。



表 13.4-1 样本量  $n$  与合格数  $c$  的关系表

$n$	7	14	20	26	32	...
$c$	0	1	2	3	4	...

计量抽样是对样本中的特征值（这些特征值是连续随机变量）进行测试和统计计算，然后与判定准则规定的合格值进行比较，最后判定这批产品是否合格。

统计学上，将抽取的（产品）样品称为样本。对于  $n$  个样品，其样本均值  $\bar{X}$  为

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (13.4-1)$$

式中， $n$  为样本量； $X_i$  为第  $i$  个样品的观测值。

$S_n$  为样本的标准差

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (13.4-2)$$

样本的标准差  $S_n$  大，表示数据分散程度高；当样本足够大时，样本均值  $\bar{X}$  趋近于总体数学期望  $\mu$ ，样本标准差  $S_n$  趋近于总体标准差  $\sigma$ 。

对产品的电磁兼容性作抽样检验属于小样本抽样。在电磁兼容检测中，对于抗扰度电平而言，希望越高越好，有单侧下限，没有上限。对于电磁骚扰则相反，只有单侧上限而没有下限。对于这样的抽样（小样本，单侧界限）是服从“非中心  $t$  分布”。电磁发射测量的合格评定就是采用“非中心  $t$  分布”的计量抽样方法。

其数学表达式如下

$$\bar{X} + kS_n \leq L \quad (13.4-3)$$

式中， $\bar{X}$  为样本均值； $k$  为接受界限系数， $k$  值取决于样本量  $n$ ，其关系见表 13.4-2。

表 13.4-2 接收界限系数  $k$  与样本量  $n$  的关系表

$n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	25	30	35
$k$	2.04	1.69	1.52	1.42	1.35	1.30	1.27	1.24	1.21	1.20	1.17	1.09	1.07	1.06

在实际测试时，用测量骚扰的接收机可以方便地测出骚扰电平，骚扰电平是连续随机变量，所以  $X_n + kS_n \leq L$  适合骚扰电平的合格评定。

军用电器的设计或使用必须知道产品的抗扰度电平，民用产品的设计者也应知其抗扰度限值电平  $L$ ， $\bar{X} - kS_n \geq L$  适用于批量产品的抗扰度限值的合格评定。抗扰度电平测试过程中，有的测试项目施加的电磁骚扰能量较大，或者电压较高，可能要损坏产品，所以在一般的民用标准中只推荐施加抗扰度限值的抗扰度测试，如果产品能够承受，则判测试通过。目前，民用产品的合格评定测试一般不进行抗扰度电平测试。对批量产品的合格抗扰度评定要用二项式分布得出的样本量  $n$  与允许超过规定限值的产品数  $c$  之间的关系按表 13.4-1 来判定。

对于单个产品骚扰测试，以最严酷情况作为判断依据。在所有工作状态下，只要有一个频率点的骚扰电平超过限制，测试就不通过。对于抗扰度试验，要求在所有的典型工作状态下，产品都能通过测试。只要有一个状态不通过，该测试项目就判为不通过。

产品具有一定的离散性，企业一方面要严格控制工艺流程，控制元器件和零部件的采购质量以提高产品的一致性；另一方面，要提高产品的内控电磁兼容要求，如在发射方面内部控制骚扰电平比标准限值低几个分贝，在抗扰度方面内部控制提高抗扰度限值。这样，便可以提高产品的整体电磁

兼容水平。

电磁兼容测试要在产品典型的运行条件下进行，它往往需要实验室测试人员和产品工程师合作。实验室工程师负责试验布置及测试，产品工程师确保产品工作在典型状态并提出产品状态的监视方法。

### 1.3 电磁兼容的成本

所谓好的电磁兼容方案，一定要兼顾技术和经济两方面的因素。技术措施不力，电磁兼容难于过关；技术措施过度，则造成经济浪费。因此应经过设计和测试，力争使电磁兼容措施达到恰当的程度。在实际中，电磁兼容措施往往要通过试验才能确定最终的技术方案或措施。

降低产品的电磁兼容成本，最好的途径是在产品的设计阶段就考虑电磁兼容问题。产品从研发到最终用户使用可分为研制开发阶段，产品定型阶段，批量生产阶段以及售后服务阶段。越到后期，产品解决电磁兼容的成本越高，这并不是因为技术难度发生了变化，而是因为每一阶段生产投入的成本增加了。在早期的研发阶段，工程技术人员在实验室内首先考虑的是实现产品的功能，电子线路、外壳可变化的余地大，为解决电磁兼容问题而增加的器件和措施可以方便地加入。到了产品定型阶段，电子线路板要印制，外壳和一些部件要开模具，而这些印制的线路板和外壳等会对采取何种电磁兼容措施起着限制作用，如果因电磁兼容问题一定要改线路板，那么原先印制线路板所付出的成本就成为了代价。经过统计，各个阶段解决电磁兼容问题的费用关系是这样的：产品研发阶段费用为 1，产品定型阶段为 10，产品批量生产阶段为 100，售后服务阶段为 1000。解决电磁兼容问题的费用几乎是以十倍的比率增长，图 13.4-2 是产品电磁兼容问题解决费用与产品生产过程的示意图。

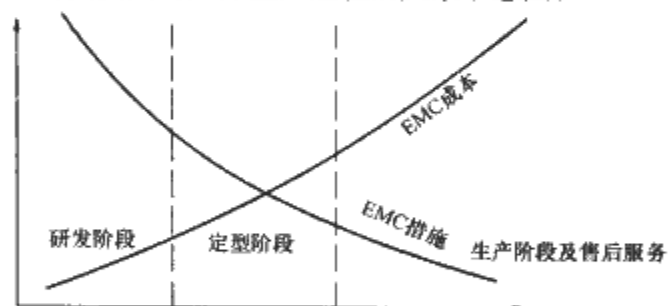


图 13.4-2 问题解决费用与产品过程的关系图

由此可见，降低产品的电磁兼容成本有两个要点：第一，技术措施要适当；第二，尽可能地在早期考虑解决电磁兼容问题。

## 2 辐射抗扰度测试及有关要求

### 2.1 电磁场辐射抗扰度测试

#### (1) 辐射抗扰度试验分级

电磁辐射抗扰度试验将电磁环境分为 5 个等级：等级 1 为低电磁辐射环境，它是位于地方广播电台/电视台和低功率发射机/接收机 1km 以外的环境，其发射电平为典型的低电平；等级 2 为中等电磁辐射环境，它是使用低功率便携式收发机（通常功率小于 1W）的电磁环境，它限定在设备附近使用，是一种典型的商业环境；等级 3 为严重电磁辐射环境，它位于便携式收发机（2W 或更大功率）附近，接近使用设备，但距离不大于 1m，附近有大功率广播和工业、科学和医疗设备的电磁环境，它是一种典型的工业环境；等级 4 为距离便携式收发设备小于 1m 的电磁环境，或者距离其

他强干扰源小于1m的电磁环境；等级X为待商定的电磁环境，它可以通过协商确定，或通过产品标准等加以规定。IEC 61000—4—3（2006—02）规定了5个磁场辐射测试等级，见表13.4-3（测试频率范围为80MHz~6GHz）。

表 13.4-3 电磁辐射抗扰度试验等级

等 级	试验场强 (V/m)	等 级	试验场强 (V/m)
1	1	4	30
2	3	X	特定
3	10		

注 “X”表示开放等级。

## (2) 试验设施及测试

为了保证对受试设备提供规定的骚扰以及测试用信号不对外界产生干扰，测试要求在电波暗室内进行。电波暗室分为全电波暗室和半电波暗室。全电波暗室在屏蔽室内各个面均安装了吸波材料；半电波暗室的地面是金属材料，以模拟理想的反射地面，它的周围及顶部安装了吸波材料，可进行电磁辐射骚扰测试，进行辐射抗扰度测试时则地面要铺设吸波材料。电波暗室的大小要能容纳放置受试设备所需的场均匀区域。电波暗室进出电线要通过滤波器，滤波器不应产生谐振。信号源能够覆盖所有频段 [IEC 61000—4—3（2006—02）要求 80MHz~6GHz]，在 80~1000MHz 能被 1kHz 的正弦波作 80% 的幅度调制，在 800MHz~6GHz 频段，能被矩形脉冲作 100% 幅度调制。使用低通或带通滤波器可避免由谐波产生的问题。功率放大器要求能够将调制的和未调制的信号放大并使天线发出所需要的场强电平；功率放大器的谐波在均匀域产生的场强电平应比基波场强电平至少低 6dB。发射天线应该是线性极化的并能够满足频率特性要求，它们是双锥天线、对数周期天线、喇叭天线以及其他线性极化天线。场强用各向同性探头进行探测，各向同性探头的前置增益和光电转换器应具有足够的抗扰性，配有与室外指示器相连的光纤电缆。信号连接宜经过滤波。有关的辅助设备能记录功率放大器的功率电平和信号源输出电平以便达到控制的目的。其他的辅助设施应有良好的抗扰性能，否则将影响测试的正确性。

图 13.4-3 是在电波暗室内进行辐射抗扰度测试的示意图。

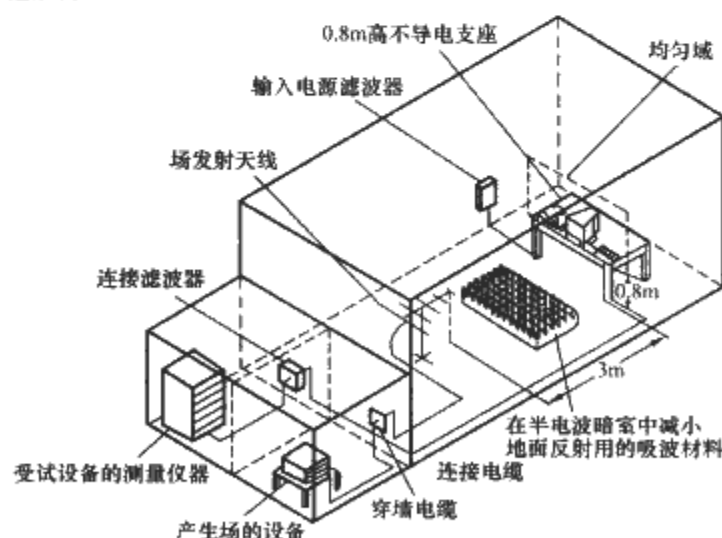


图 13.4-3 电波暗室电磁辐射抗扰度测试示意图

如产品应用于模拟信号环境，则抗扰度测试信号为 1kHz 的 80% 的幅度调制信号；如应用于无线数字通信环境，抗扰度测试信号为 100% 的幅度脉冲调制信号。图 13.4-4 为 80% 射频调制波形图。

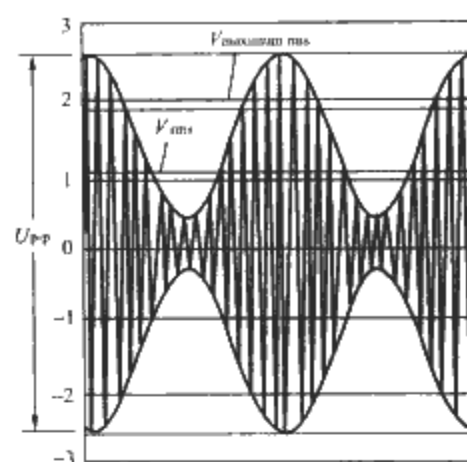


图 13.4-4 80%射频调制波形图

图 13.4-3 的电波暗室电磁辐射抗扰度测试示意图中的受试设备要放置在均匀的电磁场中，受试设备应尽可能地在实际状态下工作，设备及其连线尽可能按生产方要求布置，发射天线与受试设备距离建议为 3m，放置受试设备位置的场强要经过校准，一般地，所谓均匀域是与地面垂直、尺寸为 1.5m×1.5m 的一个平面，设在离参考地板上方 0.8m 处，如图 13.4-5 所示。

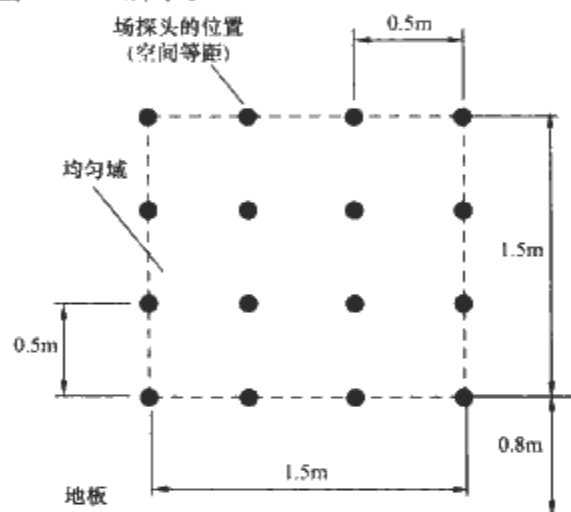


图 13.4-5 场均匀域尺寸及其校准

测试时要注意气候条件符合产品的工作要求，空气相对湿度不能高到引起产品表面凝露。实验室电气条件能够确保被试品能够正常工作。

测试前要确认产品的关键性能并确定适当的检测方法。产品应工作在正常状态。准备测试的那个面，要确定其典型的工作状态，选用合适的天线，确定测试频率范围、驻留时间（不低于 0.5s）以及频率步进的步长（不超过 1% 的当前频率），选择抗扰度限值电平，正确布置受试设备及其引线，选择产品可接受的判定依据。上述要素确定之后，进行试验布置，测试时将产品面向发射天线的一面与均匀域重合，试验场强按场均匀域校准时设定的状态施加，试验中产品可能出现以下四种情况：

- ①产品运行功能或性能符合其技术规范要求。
- ②产品功能或性能暂时降低或丧失，但能自行恢复。
- ③产品功能或性能暂时降低或丧失，但需要操作者干预才能恢复。
- ④产品（元器件）或软件损坏，或数据丢失，产品运行功能降低或丧失不能恢复（修理除外）。

通常，试验中出现情况①则判合格，出现情况④判断试验不合格，如果出现情况②或③，则要根据产品要求或具体情况来判断。试验情况①表明其抗干扰能力强，但也可能电磁兼容技术成本高，有的产品并不需要那么高的要求，但有



的产品却不允许出现丝毫差错,如高速流水线的控制器等。判别依据在产品标准或产品技术条件中应该加以规定。

测试报告要将上述对测试有影响的要素记录清楚,测试报告所包含的信息要能够使得测试结果重现。

### (3) 场均匀性校准

在 80~1000MHz 频段,校准时发射天线距电磁场均匀域(基本上是放置被试品的位置)3m,发射天线的主瓣宽度应能覆盖均匀域,均匀域各点的场强值由尺寸小于 0.1m 的场强探头测量。校准要在水平和垂直两个极化方向进行,如图 13.4-6 所示。

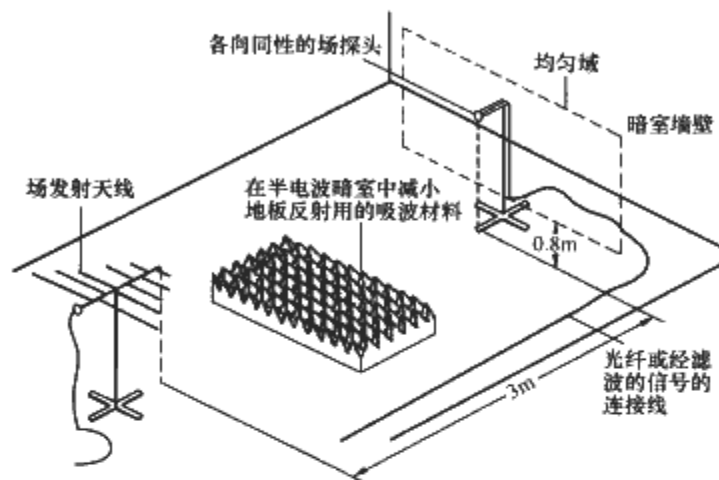


图 13.4-6 场均匀域校准

① 将探头置于方格中 16 个点中的某一点上(图 13.4-6 中场强探头位于图 13.4-5 所示均匀域中的某一点),设置信号源频率在频段的最低点(如 80MHz)。

② 调整信号源输出(功率放大器增益设置好后在校准过程中一般不做调整),得到校准场强  $E_c$ ,记录信号源的输出和天线端输入功率  $P_{c1}$ 。

③ 以不超过 1% 当前频率的步长增加频率。

④ 对方格中 16 个点每个点均重复②到③步骤,直到最高频率(如 1000MHz)。如果在所测频率,图 13.4-5 中的 16 个点中有 12 个以上位置的场强之间的差小于或等于 6dB,则可认为该频率点上区域的电磁场分布的均匀性是合格的。接下来检查功率放大器是否饱和。

⑤ 将上述记录的信号源电平降低 5.1dB。

⑥ 记录天线端新的输入功率  $P_{c2}$ 。

⑦ 如果  $P_{c1} - P_{c2} < 3.1\text{dB}$ ,则该功率放大是饱和的,不适宜做该项测试,如果  $P_{c1} - P_{c2} \geq 3.1\text{dB}$ ,则认为功率放大器没有饱和,可以进行测试。

辐射电磁场抗扰度测试需要电波暗室及大功率放大器等价格昂贵的测试设备,这对测试的普及和降低试验成本是不利的。经过大量的研究,发现在 80MHz 以下频段,辐射电磁场抗扰度测试可以用传导的方法加以模拟,这将在 3.3 射频场感应的传导抗扰度测试中加以介绍。

有些设备或元器件对低频磁场敏感,使用环境中的磁场可能影响这些设备的可靠运行。下面介绍工频磁场、脉冲磁场和阻尼振荡磁场抗扰度测试。

## 2.2 工频磁场抗扰度测试

### (1) 工频磁场抗扰度的分级

设备正常工作状态下的电流,产生稳定的磁场。磁场的大小与电源线的结构有关,与电流的大小有关,通常稳定磁场的幅值较小。而故障条件下的电流较大,它产生的磁场幅值较高,但持续时间较短,这个时间由电路保护装置的动作时间决定,熔断器动作时间为几毫秒,继电器保护动作时间

为几秒。IEC 61000-4-8 (GB/T17626.8) 将试验分为 6 个等级(见表 13.4-4 和表 13.4-5)。

磁场强度用 A/m 表示,1A/m 相当于自由空间的磁感应强度为  $1.26\mu\text{T}$ 。

表 13.4-4 稳定持续磁场试验等级

等级	磁场强度(A/m)	等级	磁场强度(A/m)
1	1	4	30
2	3	5	100
3	10	X	特定

注 “X” 是一个开放等级,可在产品规范中给出。

表 13.4-5 1~3s 短时试验等级

等级	磁场强度(A/m)	等级	磁场强度(A/m)
1	—	4	300
2	—	5	1000
3	—	X	特定

注 “X” 是一个开放等级,可在产品规范中给出。

试验等级应根据最符合实际的安装和环境条件进行选择,以使得设备能够在预期的环境中运行正常。表 13.4-4 和表 13.4-5 中 6 个等级的含义如下:

① 1 级。敏感设备环境,该环境中安装了利用电子束工作的敏感设备,监视器、电子显微镜是这样类型的典型敏感设备。通常,90% 的阴极射线计算机显示器只能容忍 1A/m 的磁场强度。如果要靠近变压器或电力线路,产品委员会应该使产品承受更高等级的测试,或者将显示器远离骚扰源。

② 2 级。良好保护的环境,不存在电力变压器这样可能产生漏磁通的电气设备,不受高压母线影响的区域。远离接地保护导体、安装工业设施的场所和高压变电所的住宅、办公室和医院是这类环境的典型。

③ 3 级。受保护的环境特征:可能有产生漏磁通或磁场的电气设备或电缆;临近保护系统的接地导体;与有关设备连接的中压回路和高压母线的距离几百米远。商业区、控制楼、非重工业区以及高压变电所的计算机房是这类环境的典型。

④ 4 级。典型的工业环境:有短支路电力线,如母线等;有可能产生漏磁通的大功率电气设备;有保护系统的接地导体;有与相关设备连接距离几十米的中压回路和高压母线。重工业厂区、发电厂以及高压变电所的控制室是这类环境的典型。

⑤ 5 级。严酷的工业环境:有载流量为数十千安的导体、母线或中压和高压线路;有保护系统的接地导体;临近中压和高压母线;临近大功率电气设备。重工业工厂的开关站,中压和高压开关站以及电厂的开关站是这类环境的典型。

⑥ X 级。特殊环境,可根据干扰源与设备的线路,电缆和线路等之间的电磁隔离情况,以及设施的特性采用高于或低于上述等级的环境等级。应该指出,较高抗扰度等级的设备线路可以进入较低等级的环境。

### (2) 试验设备及测试

试验设备包括电流源(试验发生器)、感应线圈和辅助试验仪器。

试验发生器输出电流波形应与试验磁场的波形一致,并能为产生规定的磁场提供相应的电流。发生器容量的大小应由线圈阻抗而定。

典型的发生器由一台调压器(接至配电网)、一台电流

互感器和一套短时试验的控制电路组成。发生器能够在连续方式和短时方式下运行,其特性如下:

- ① 稳定持续方式工作时的输出电流范围为  $1\sim 100\text{A}$ 。
- ② 短时方式工作时的输出电流范围为  $300\sim 1000\text{A}$ 。
- ③ 输出电流波形为正弦波。
- ④ 输出电流的总畸变率小于  $8\%$ 。
- ⑤ 短时方式工作时整定时间为  $1\sim 3\text{s}$ 。

对标准线圈的电流输出范围,稳定持续方式工作时为  $1.2\sim 120\text{A}$ ,短时方式工作时为  $350\sim 1200\text{A}$ 。

工频磁场试验发生器原理图如图 13.4-7 所示,是由工频电流或极少量由附近的其他装置(如变压器的漏磁通)产生的。

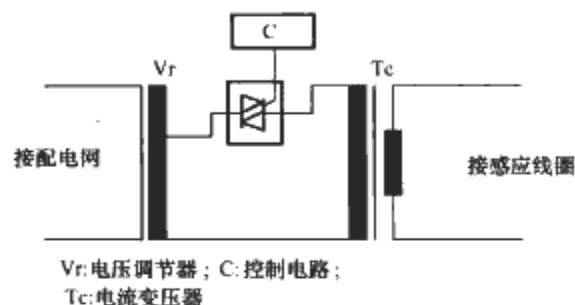


图 13.4-7 工频磁场试验发生器原理图

### 3 传导抗扰度测试及有关要求

本节将介绍外界电磁骚扰(低电平、高频的或脉冲的)施加于受试设备(EUT)的各种端口(或称界面)时的试验要求及这些试验的选择和应用。飞速发展的半导体和集成电路技术,极大地刺激了机电装置和系统、电子电器设备采用微电子器件和集成电路,从而导致这些装置、系统、设备对环境中的电磁骚扰(传导的、辐射的及静电的)敏感性。引起敏感性的不仅有诸如谐波或电压中断等“低频”电磁现象,还有传导瞬态或高频感应电压等“高频”电磁现象。因此,本节介绍的抗扰度试验项目是很复杂的,然而并不是所有的产品都必须进行这些试验。产品专业标准化技术委员会(或设备的用户及制造商)应对这些试验和施加于受试设备的严酷度等级的正确选择负责。

#### 3.1 低频连续传导抗扰度测试及要求

##### (1) 谐波抗扰度试验

1) 试验目的:用于检验受试设备对低压供电网络中的谐波(指基波为  $50/60\text{Hz}$ )有可能敏感时所产生的影响。这些影响可以分为两种类型:短期的准瞬态影响,包括偶然误动作到电子元件的损坏;长期的影响,如过热。

2) 适用范围:用于运行在低压公共配电网络、工业电网和变电站中的各种类型的设备。

3) 试验电压特性:试验电压由叠加在电源电压上的一个或多个连续正弦波的组合波构成。通常,仅考虑到 40 次谐波(对于 50 基波为  $2000\text{Hz}$ ,对于 60 基波为  $2400\text{Hz}$ )就足够了。

4) 试验设备/试验发生器:根据  $50/60\text{Hz}$  的功率要求,可能有以下三种配置:

① 对于小功率,可利用提供  $50/60\text{Hz}$  的电源和谐波功率放大器(见图 13.4-8)。

② 对于较大功率,可利用串联注入电路,其中由馈电线供给  $50/60\text{Hz}$  的电源,而功率放大器仅提供谐波(见图 13.4-9,对三相设备,可采用三个如此配置的电路)。

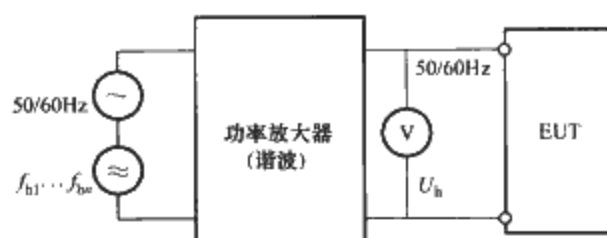


图 13.4-8 谐波功率放大器

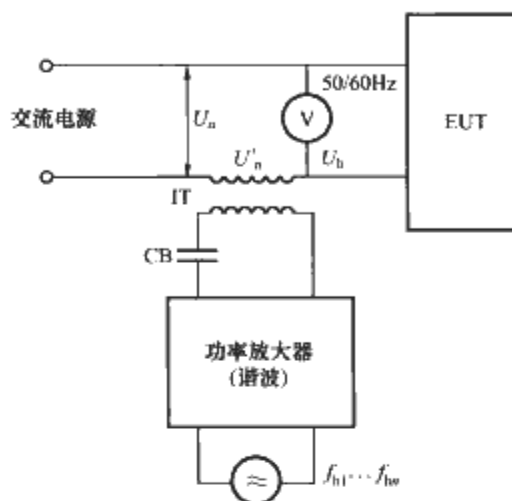


图 13.4-9 仅提供谐波的功率放大器

③ 对于高频,也可采用如图 13.4-10 所示带有并联注入电路和反向滤波器的配置。

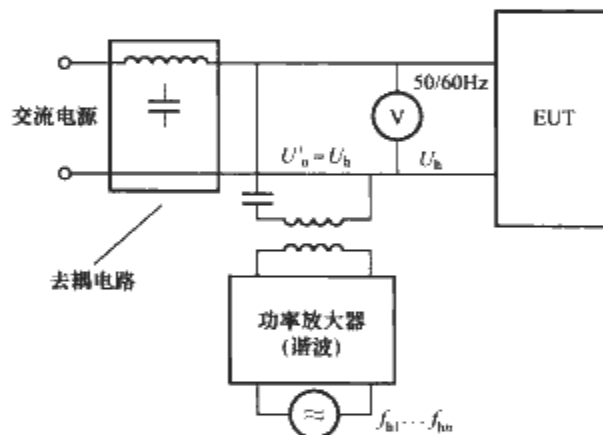


图 13.4-10 带有并联注入电路和反向滤波器的装置

如果谐波与工频电压之间的相角关系对试验结果有一定的作用,则应提供改变相角的手段,这可以通过使用可变移相器或具有与实际谐波频率略有偏差并能产生连续相位变化的谐波源来实现。

5) 推荐的严酷度等级:试验严酷度等级可根据谐波电压兼容电平与相关专业标准化技术委员会所规定系数的乘积来确定。兼容电平由 IEC 61000—2—2 给出,而抗扰度系数可在  $1.2\sim 2.0$  范围内选取。当同时用若干个谐波来进行试验时,抗扰度系数甚至可以降低至小于 1,这是由于所有谐波同时以最大值出现的可能性极小。但应当注意不能超过允许的总畸变系数。

6) 试验程序说明:应考虑应用的谐波取决于受试设备的特性:

① 如果受试设备是一个频率选择性装置(如纹波控制接收机),则可用相关的骚扰谐波进行试验。

② 如果受试设备对整个频率范围的谐波均敏感(如电容器),理论上应当用所有的谐波来进行试验。然而,这是不可行的,可以采用能产生等效骚扰作用的一个或有限个谐波来代替整个范围内的谐波。

③ 在特定情况(如旋转电机或电容器的加热试验)下,

应按照各频率的影响对所考虑的各谐波的电平进行加权。

## (2) 谐波抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对电压供电网络中的谐波(即具有谐波之间频率的电压)有可能敏感时所产生的影响。谐波对敏感装置的影响与谐波相同,包括:

- ① 短期影响(如引起误动作)。
- ② 长期影响(如过热)。

谐波源通常有两种:

- ① 离散频率的谐波源,如静态变频器、循环变频器。
- ② 连续频谱的谐波源,如电弧炉。

2) 适用范围。谐波试验仅适用于某些特定情况,包括:

- ① 对特定谐波特别敏感的窄带频率选择性设备。
- ② 对预期安装在具有较高谐波电平的场所(如大型电弧炉附近)的宽带敏感设备。

对于绝大多数设备,谐波试验已经足以满足要求。

3) 试验电压特性。对于离散谐波频率,同谐波一样,一个具有适当幅值的连续正弦波被叠加在电源电压上。

对于连续频率的谐波,应注意到,实际上在网络中这些频谱具有随频率变化(取决于源特性和网络阻抗)及随时间连续波动的幅值。迄今尚未确定用于试验的、能明确再现的标准频谱。

4) 试验设备/试验发生器。该试验设备基本上与谐波试验设备相同,只是用谐波源取代谐波源而已(见图13.4-8~图13.4-10)。

在连续频谱的情况下,谐波源可由噪声发生器构成,其输出通过适当的滤波器,从而产生所需的幅频特性。应该注意,类似于图13.4-9、图13.4-10的串联注入网络可能与频率有很大关系。

5) 推荐的严酷度等级。设定电磁兼容电平的指导原则为:

① 对于离散谐波,各频率可具有基频电压 $U_n$ 的0.5%的电平(无谐振),但当其可能骚扰纹波控制系统时,则必须降低至小于 $U_n$ 的0.1%。

② 用10Hz带宽测量时,连续频谱显示的背景电平通常不大于 $U_n$ 的0.02%。对电弧炉和类似设备来说,会有较高的背景电平,具体情况与环境有关。

③ 应根据不同情况就试验电平达成一致,它们可设置为等于兼容电平与所选择的抗扰度系数的乘积,如抗扰度系数的范围可为1.2~2.0。

6) 试验程序说明:进行谐波试验时,在所考虑的频带内(或邻近该频带),可包含或不包含谐波。

离散谐波的测量同谐波类似。连续频谱的测量可通过以下两种方式进行:

① 测量所考虑频带内的总有效值。

② 利用带通滤波器( $\Delta f=3\text{Hz}$ 或 $10\text{Hz}$ )测量电压密度频谱。

## (3) 信号电压抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对低压供电网络中的信号电压有可能敏感时所产生的影响。

2) 适用范围。用于安装在低压公共配电网络、工业电网及电厂中对短期脉冲敏感的设备。

3) 试验信号。目前正在使用(或对于新系统正在考虑)4种类型的信号,它们分别是:

① 110~2000Hz范围内的“音频”(纹波控制)。

② 3~20kHz范围内的“中频”(中频电源线载波)。

③ 20~150kHz范围内的“射频”(射频电源线载波)。

④ 电源电压曲线上的标记(电源标记系统)。

由于这些信号以脉冲形式间隙传送,因此只需研究短期影响。

4) 试验电压特性。“频率信号”是叠加在供电电源电压上的正弦波。“电源标记”信号应采用其特定的波形来发送。

5) 试验设备/试验发生器:对于“频率信号”,可考虑以下三种不同的配置:

① 对于较小功率的受试设备,放大器配置与谐波试验相同,利用放大器来供给50/60Hz电源及信号(见图13.4-8)。

② 对于较大功率及低频(如10kHz以下)情况,采用同谐波试验相同的串联注入配置(见图13.4-9)。

③ 对于较大功率及中频和射频情况,采用带有反向滤波器的并联注入配置(见图13.4-10)。

在所有的配置中,应插入按系统代码提供信号的脉冲器件。对于电源标记信号,需要一个特定的试验设备。

6) 推荐的严酷度等级:在2000Hz以下的音频范围内,可将信号频率附近的谐波(即非3的倍数的奇次谐波)兼容电平的最高值作为指导值。同谐波一样,应通过乘以适当的抗扰度系数(即1.2~2.0)来提高其严酷度等级。

对于中频和射频范围,正在考虑兼容电平值。在没有确定的结果之前,可采用信号传输系统生产厂商所指定的最高信号电平乘以适当的抗扰度系数来进行试验。

对于电源标记信号,也是采用生产厂商所指定的信号电平乘以一个合适的抗扰度系数来进行试验。

7) 试验程序说明:由于是按不同的方式对信号进行编码,因此有可能要检查某特定器具对编码信号是否比对连续信号更为敏感。

有些装置也可能对信号频率的谐波较为敏感;当对此有怀疑时,则也应考虑在这些频率点上进行抗扰度试验。

可使用适合于编码脉冲或信号类型的测试仪器来测量信号电平。

## (4) 电压波动抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对低压供电网络中快速电压波动有可能敏感时所产生的影响。这些波动的产生可能与诸多因素有关,如:

① 连续的但随机变化的大负载(如电弧炉)。

② 负载(如电动机)的单次开/关切换。

③ 阶跃式的电压变化(由变压器的分接头电压调节器引起)。

快速电压波可能会影响敏感电子设备(如电子控制装置、计算机等)的工作。

2) 适用范围。用于在公共网络、工业网络及电厂中可能对这类骚扰产生敏感性的所有设备。

3) 试验电压特性。可以认为阶跃式电压变化是电压波动骚扰性最强的类型。受试设备起初在稳定的电源电压下工作,然而按图13.4-11所示受到重复性阶跃式电压变化的作用。

4) 试验设备/试验发生器。图13.4-12就是一种可能的试验配置简图。

5) 推荐的严酷度等级。初始电压设为: $U_n$ (额定值)、 $U_n(1+10\%)$ 、 $U_n(1-10\%)$ 三种。

电压阶跃式幅值可选择如下:

① 用于公共网络或其他受轻微骚扰的网络中的设备,

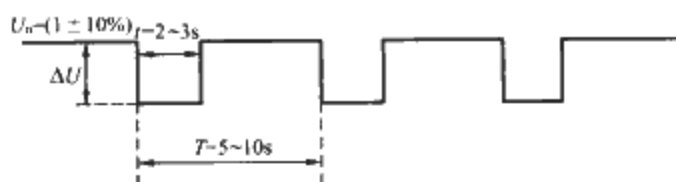


图 13.4-11 电压波动顺序示例

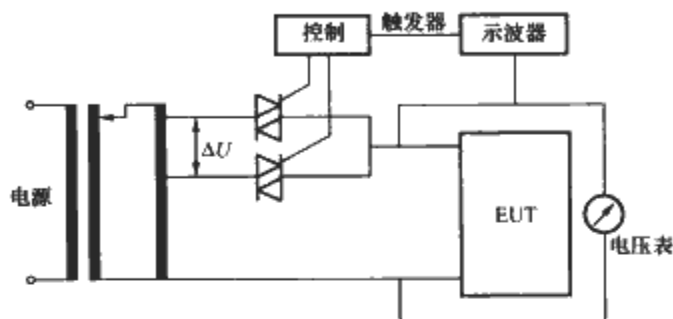


图 13.4-12 电压波动试验示意图

$\Delta U = \pm 8\% U_n$ 。

② 对用于受严重骚扰的网络（即工业网络）中的设备， $\Delta U = \pm 12\% U_n$ （不应超过产品生产厂商规定的工作电压的上下限）。

重复周期  $T$  及电压波动的持续时间  $t$  尚待确定，一般可取  $T = 5 \sim 10s$ ， $t = 2 \sim 3s$ 。

6) 试验程序说明：

① 电压阶跃式变化。

② 电压暂降和短时中断。

(5) 电压暂降和短时中断

1) 试验目的。电压暂降是指降低幅度超过  $U_n$  的  $10\% \sim 15\%$ 、持续时间较短（0.5~50 个周期）的偶然电压降。短时电压中断是降低幅度为  $100\% U_n$  的电压暂降。

该试验的目的是检验受试设备有可能对电压暂降和短时中断敏感时所产生的影响。电压暂降和中断由低压、中压和高压网络中的故障（短路或接地故障）引起。尤其要对能快速自动重合闸的开关故障后持续时间为 0.5s 的暂降和中断进行研究。

电压暂降和中断的影响可以有不同的类型，例如：

① 接触器跳闸。

② 调节装置的不正常运行。

③ 变压器的变换故障。

④ 计算机存储器中的数据丢失等。

2) 试验电压特性。受试设备起初在其额定电压下工作，然后如图 13.4-13 所示施加电压暂降或中断的作用。

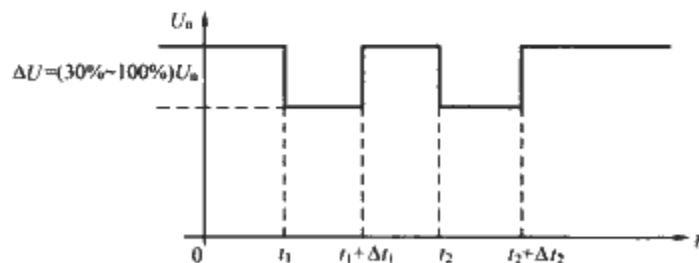


图 13.4-13 具有两次电压暂降的一个试验周期举例

3) 试验设备/试验发生器。可以使用与电压波动试验相同的设备（见图 13.4-12）。

4) 推荐的严酷度等级。推荐使用以下的试验：

	$U_n$	持续时间
电压暂降	30%	0.5~50 个周期
	60%	
电压中断	100%	

持续时间的选择取决于过程和（或）设备的类型（较短的持续时间特别适用于带有存储器的装置）。

此外，为了模拟某些特定网络中的情况，也可考虑将具有不同时间间隔的两连续暂降（或中断）作为一个周期来进行试验。

5) 试验程序说明。对三相设备，可能需要将电压暂降同时施加在三相或仅加在一相或两相上。

(6) 三相电压不平衡抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对三相电压系统中的不平衡可能敏感时所产生的影响。例如：

① 交流旋转电机的过热。

② 电子功率转换器中非特征谐波的产生。

不平衡的程度由不平衡系数来定义

$$\text{不平衡系数 } i = \frac{\text{负序电压 } U_2}{\text{正序电压 } U_1}$$

2) 适用范围。该试验仅适用于三相设备。

3) 试验电压特性。将具有规定不平衡系数的三相工频电压施加到受试设备上。为了保证试验的真实性，试验电压所含的谐波分量应极小。

4) 试验设备/试验发生器。最简单的试验配置由输出分别调节的三台单项自耦变压器组成。

5) 推荐的严酷度等级。除非另有规定，进行本试验时所采用的不平衡系数为 2%。

(7) 工频变化抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对工频变化有可能敏感时所产生的影响。这些影响通常是即时的，如测量误差、失步等。

2) 适用范围。由于在互联的网络中，工频仅会在额定频率（50/60Hz）附近很窄的频带内变化，因此该试验只适用于下列特定情况：必须运行在工频变化大的情况下的设备；安装在与大的互连系统相隔离的小网络中的设备。

3) 试验电压特性。受试设备由输出频率具有一定变化范围（如  $\pm 10\%$ ）的发生器供电。

4) 试验设备/试验发生器。可以使用任何工频信号发生器、功率放大器、变频器、柴油发电机组等。输出电压不应含有较高的谐波分量。

5) 推荐的严酷度等级。对每种特殊情况都要规定试验值。以下指标可作为严酷度等级选择的指导：

① 正常频率变化范围

$f_n(1 \pm 2\%)$ ，即 51.0~49.0Hz，或 62.4~58.8Hz。

② 大的频率变化范围（特定情况）

$f_n(1 \pm 4\% \text{ 或 } 1 \pm 6\%)$ ，即 52.0~47.0Hz，或 62.4~56.4Hz。

在某些情况下，对于特定的设备，频率变化速度及试验的持续时间可能有一定的影响，此时这些值也应当由相关专业标准化技术委员会或通过用户和制造厂商之间的协议来确定。

(8) 直流分量抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备有可能对叠加在供电电压上的直流分量敏感时所产生的影响。这些直流分量可能是由对交流波形、不平衡交流一直流变换器等负载的不对称引起的。

2) 适用范围及试验规范正在考虑中。

### 3.2 脉冲传导抗扰度测试及要求

(1) 100μs/1300μs 电压/电流浪涌抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验设备（单个装置或系统）对低

压供电网络中高额定值熔断器熔断所产生的瞬态导致的敏感的影响。这些瞬态具有以下的一般特性：

- ① 单向脉冲或快速阻尼震荡波。
- ② 持续时间较长（50%/50%持续时间达 10ms）。
- ③ 单向脉冲上升时间长（10%/90%上升时间达 200μs）。
- ④ 幅值低，仅为  $2U_n \sim 3U_n$ 。
- ⑤ 能量大。

由于持续时间长和能量大，所以尽管它们的幅值较低，这类瞬态仍能影响电子设备的工作，甚至会造成某种损坏。

2) 适用范围。用于预定连接到低压配电网络或电站的低压电网中的敏感电子设备。然而，对于大功率电子设备，试验设备可能太大和过于昂贵，因此目前正在设想一种计算方法来替代这种情况下的试验。

该试验应用范围的更详细规范正在考虑中。

3) 试验波特性。此类瞬态被认为能以叠加在工频电压曲线的正峰和负峰上的近似 100/1300μs 的单向浪涌来代替（见图 13.4-14）。

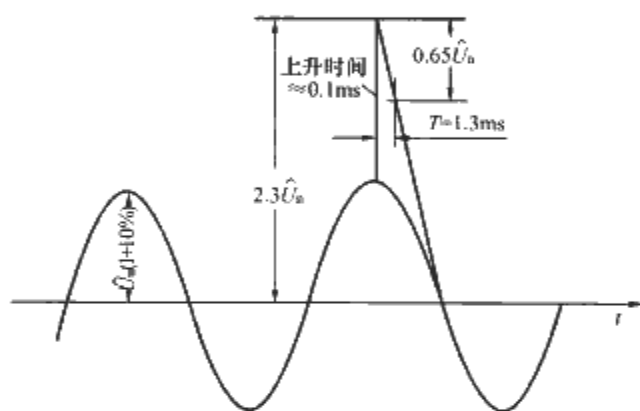


图 13.4-14 典型长持续时间脉冲的波形

4) 试验发生器/试验设备正在考虑中。

5) 推荐的严酷度等级。电涌的幅值应为  $1.3U_n$ 。例如：对于  $U_n=230\text{V}$ ， $U_p=425\text{V}$ ；对于  $U_n=400\text{V}$ ， $U_p=735\text{V}$ 。

试验电压被施加在设备的供电端子上（相线与中线之间或相线之间），它叠加在正弦波形的电源电压上（见图 13.4-14）。

6) 试验程序说明。试验施加在相应半波的峰值上，对每一极性进行三次试验。

试验之间的时间间隔应足够长（即 1min），以使保护装置能恢复功能。该试验通常只在实验室而不在现场进行。

(2) 1.2/50μs（电压）—8/20μs（电流）浪涌抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对下列现象引起的单向瞬态有可能敏感时所产生的影响。

- ① 电网中的切换现象（如电容器组的切换）。
- ② 电网中的故障。
- ③ 雷击（直接或间接雷击）。

根据源与受试设备的相对阻抗，感应电压浪涌可产生不同的影响：如果受试设备相对于源有较高的阻抗，浪涌将在受试设备端子上产生一个电压脉冲；如果受试设备的阻抗相对较低，浪涌将产生一个电流脉冲。

2) 适用范围。该试验适用于所有类型的设备：交流或直流电源线或端子，输入/输出控制和信号线或端子；线之间（线对线）或线与地之间。

① 对连接到低压公共网络中的设备来说，本试验是对振铃波试验或 0.1MHz 阻尼震荡波试验的补充，后两种试

验主要包含了电缆网络中出现的瞬态。

② 本抗扰度试验不应与浪涌耐受试验相混淆，后者具有其他目的（安全），进行浪涌耐受试验时采用较高的电压并且不给设备通电。

3) 试验波特性。由于浪涌抗扰度和绝缘影响是网络中相同瞬态的两种不同后果，因此对于浪涌电压耐受试验和浪涌过流试验考虑使用相同的波形是合适的。

因而，浪涌试验波形应具有以下基本特性：

① 发生器开路时能输出电压脉冲 1.2/50μs（见图 13.4-15）。

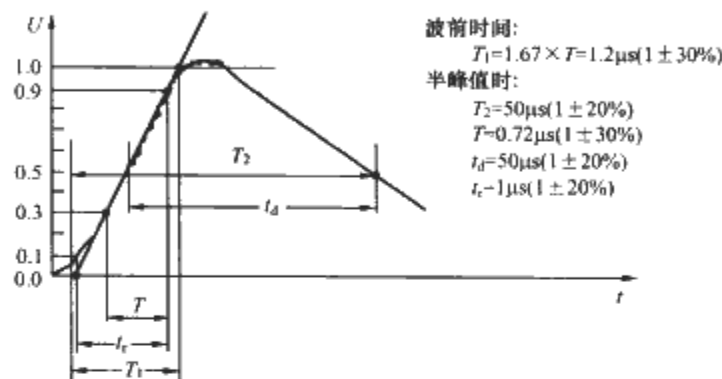


图 13.4-15 开路电压波形

② 发生器短路时能输出电流脉冲 8/20μs（见图 13.4-16）。

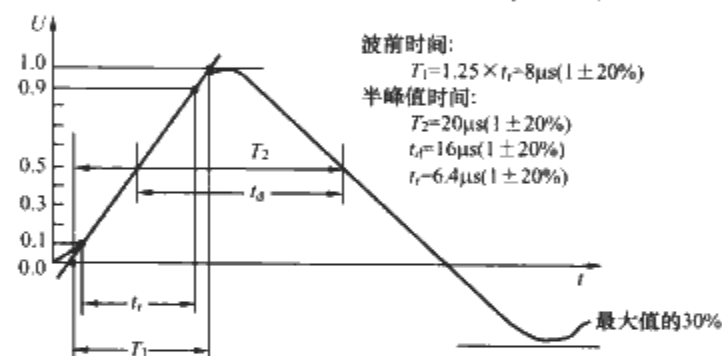


图 13.4-16 短路电流波形

由于发生器及受试设备的阻抗在试验期间会发生变化，实际电压或电流波形可能明显不同于上述特性 [参见《电磁兼容试验和测量技术抗扰度试验总论》（GB/T 17626.1—2006）附录 B]。

源阻抗（对于本试验，即发生器阻抗）可以选择为：

- a. 对于低压供电网络，两条线之间约  $2\Omega$ 。
- b. 对于低压供电网络，某条线与地之间约  $12\Omega$ 。
- c. 对于所有其他线路（测量、控制），某条线与地之间约  $42\Omega$ 。

因此，发生器阻抗必须是可变的。

4) 试验发生器/试验设备。试验发生器应当能在开路和短路时分别输出具有规定波形和幅值的电压脉冲和电流脉冲。图 13.4-17 表示这种“组合”发生器的简图。

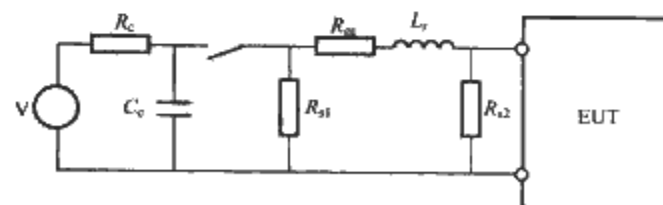


图 13.4-17 组合波发生器简图

V—高压源； $R_c$ —充电电阻； $C_c$ —储能电容器； $R_{s1}$ —防冲宽度成形电阻； $R_{s2}$ —阻抗匹配电阻； $L_r$ —阻抗匹配电感

① 发生器主要特性。

- a. 开路输出电压：0.5~4kV（ $1 \pm 10\%$ ）。



- b. 短路输出电流：0.25~2kA (1±10%)。
- c. 发生器阻抗：2Ω。
- d. 发生器自身阻抗：2Ω。
- e. 带有 10~40Ω 附加阻抗：可形成 12Ω 或 42Ω，对于差模试验，发生器阻抗为 2Ω；极性正极性和负极性；移相功能：360°；最高重复频率：至少 1 次/min。

②试验设备还包括以下类型之一的耦合电路：

- a. 用于电源或控制线的电容耦合（并联耦合）。
- b. 用于电源或控制线的电感耦合（通过串联变压器耦合）。
- c. 用于通信线路的气体避雷器耦合；还包括去耦电路（反向滤波器）；合适的测量设备（示波器），其频率范围不小于 10MHz。

5) 推荐的严酷度等级。对于某一特定的设备或系统，试验等级的选择取决于其使用的环境和安装条件。以下分类给出了试验等级选择的一般性指导（对工业过程测量和控制装置，见 IEC 61000—1）。

① 0 类环境：保护得非常好的环境；浪涌电压很低（即 ≤25V）；如保护得非常好的计算机房。

② 1 类环境：保护得良好的环境，暴露不严重；浪涌电压可能不超过 500V；如工厂或电站的控制室。

③ 2 类环境：受保护的环境，但较 1 类环境略差；浪涌电压可能不超过 1kV；如未受严重骚扰的工厂。

④ 3 类环境：受一般骚扰的环境，没有特别的安装措施；浪涌电压可能不超过 2kV；如公共配电电缆网络，工业过程区域，变电站区域等。

⑤ 4 类环境：受严重骚扰的环境；浪涌电压可能达到 4kV；如公共配电架空网络，未受保护场所的高压变电所。

⑥ 5 类环境：为特定的环境可以采用的试验（严酷度）等级见表 13.4-6。

表 13.4-6 浪涌试验电压等级

环境类别	线对线 $U_p$ (kV)	线对地 $U_p$ (kV)
0	无试验	
1	—	0.5
2	0.5	1.0
3	1.0	2.0
4	2.0	4.0
X	按照协议	

注  $U_p$  为开路电压。

对于电源线和输入/输出，采用相同的试验等级。

6) 试验程序说明。每一种极性至少进行 5 次试验，如果可能，每次试验在电源电压波形不同的位置进行。两次浪涌间的时间间隔取决于（内部）保护装置的恢复时间（如重复频率为 1 次/min）。

该试验实质上是一种实验室试验，可以考虑两种类型的试验：

- ① 对单台受试设备进行的基本抗扰度试验。
- ② 对整个系统进行的系统（整套设备）试验。

(3) 快速瞬变脉冲群抗扰度试验

1) 试验目的。该试验用于检验受试设备（单个装置或系统）对极短瞬态脉冲群有可能敏感时所产生的影响。其产生的原因有：

- ① 感性负载的切换，继电器触点跳动（传导干扰）。

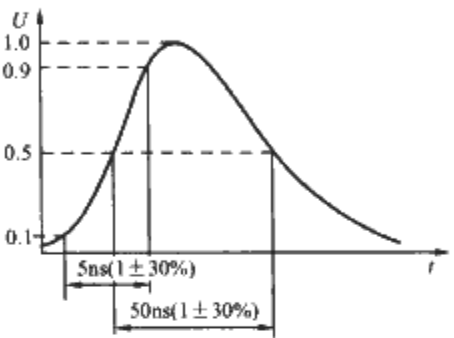
② 高压开关装置（尤其是 SF<sub>6</sub> 或真空开关装置）的切换（辐射干扰）。

这些瞬态干扰的特点是上升时间快，持续时间短，能量低但具有较高的重复频率。它们可能会干扰电子设备，但通常不大可能引起损坏。

2) 适用范围。本试验适用于以下范围：

- ① 受试设备的交流或直流电源线及控制线和信号线。
- ② 供电部门和其他公用事业部门使用的设备。
- ③ 低压公共配电网络中使用的非公用设备。
- ④ 工厂中使用的设备

3) 试验波形特性。采用如图 13.4-18 和图 13.4-19 所示的重复性脉冲群来进行该项试验。



注：1=100%

图 13.4-18 接 50Ω 负载时单个脉冲的波形

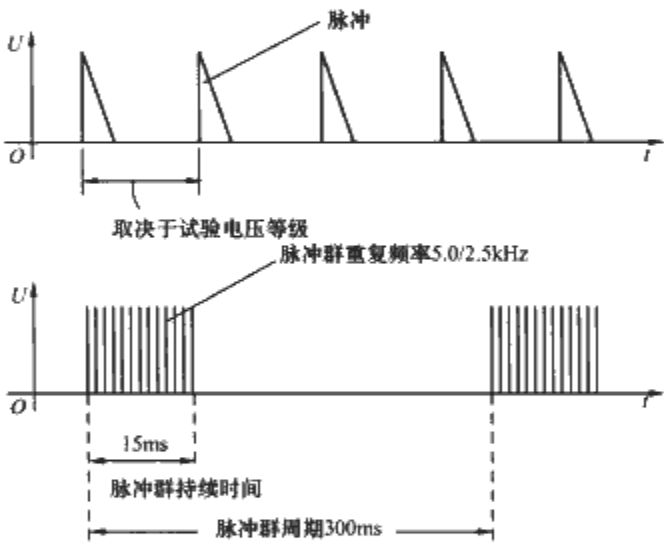


图 13.4-19 快速瞬变概略图

- ① 脉冲上升时间（10%/90%）：5ns (1±30%)。
- ② 脉冲宽度（50%/50%）：50ns (1±30%)。
- ③ 重复频率：5kHz 或 2.5kHz。
- ④ 脉冲群持续时间：15ms。
- ⑤ 脉冲群周期：300ms。

4) 试验发生器/试验设备。

图 13.4-20 表示试验发生器原理。

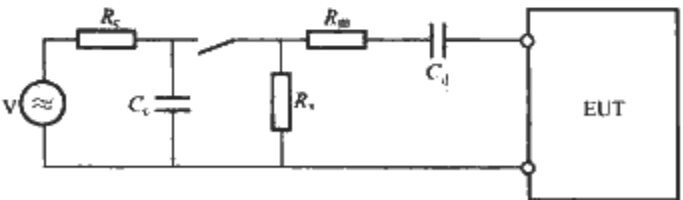


图 13.4-20 快速瞬变发生器原理图

V—高压源； $R_c$ —脉冲宽度成形电阻； $R_m$ —阻抗匹配电阻； $C_c$ —储能电容器； $C_d$ —隔直电容器

- ① 开路输出电压：0.25~4kV。
- ② 动态阻抗：50Ω (1±20%)。
- ③ 极性：正/负。



④ 同电源的关系：异步。

5) 试验设备还包括以下几种：

① 对于受试设备电源端口的试验使用耦合装置，它实际上是一个 33nF 的耦合电容器。对于实验室试验，还需附加去耦（隔离）电路；对现场试验，不使用去耦电路。

② 对于受试设备控制和信号端口的试验使用耦合装置，或电容耦合夹，或包覆线路的导电箱，或对每条线路采用的 100pF 耦合电容。

③ 具有大于 400MHz 频率范围的合适的测量设备（示波器）。

6) 推荐的严酷度等级，见表 13.4-7 和表 13.4-8。

表 13.4-7 脉冲群试验电压等级（一）

试验等级	电源及接地端子 ( $U_p$ ) (kV)	重复频率 (kHz)
1	0.5	5
2	1	5
3	2	5
4	4	2.5
X	按照协议	

注  $U_p$  (kV) 为发生器的开路电压。

表 13.4-8 脉冲群试验电压等级（二）

试验等级	输入/输出端 ( $U_p$ ) (kV)	重复频率 (kHz)
1	0.25	5
2	0.5	5
3	1	5
4	2	5
X	按照协议	

注  $U_p$  (kV) 为发生器的开路电压。

试验电压应施加在受试设备不同类型的线路或端子上。

① 电源线（交流或直流）：试验电压以共模方式施加在每个电源端子与最近的保护接地点或参考接地平面之间。

② 控制和信号线以及通信线。以共模方式施加试验电压，最好使用电容耦合夹，否则使用其他方法。

③ 机壳的保护接地端子。试验电压施加在这些端子和参考接地平面之间。

应单独规定对电源端口及控制和信号端口的合适的试验严酷度等级。根据工作条件、安装条件及保护措施，这两种严酷度等级可以相同，也可以不同（即：对工业过程测量和控制设备，受试设备控制和信号端口上的严酷度电平为电源端口严酷度电平的一半）。一般情况下包括以下几个等级。

1 级：适用于安装在保护良好的环境（如计算机房）中的设备。

2 级：适用于安装在受一般保护的环境（如工厂和电厂的计算机房和控制室）中的设备。

3 级：适用于安装在未受保护的环境（如公共配电网、工业过程区域、变电所区域等）中的设备。

4 级：适用于受严重骚扰的环境（如使用气体绝缘开关装置（GIS）或真空开关装置的变电所）中的设备。

7) 试验程序说明。试验的最短持续时间为 1min。该试验适用于实验室试验和现场试验。

(4) 振荡波抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对出现在住宅和工业低压地下电缆网络中的振荡瞬态（“振铃波”）有可能敏感时

所产生的影响。这些振荡瞬态主要是切换现象引起的。

该试验是对 1.2/50 $\mu$ s 浪涌试验的补充，后者包含了户外（架空线）网络中发生的瞬态；该试验也是 0.1MHz 阻尼振荡波试验的一种替代方法，两种均可有较低的严酷度要求。

尽管“振铃波”试验的能量要比浪涌试验的小，然而由于电压极性的变化，前者仍可能对受试设备产生影响。

2) 应用范围。适用于运行在低压住宅和工业网络及可能用于变电站中的设备。

3) 试验波形特性。波形由上升时间为 0.5 $\mu$ s 的脉冲及随后的频率为 100kHz 的振荡波组成，它以每一峰值是前一峰值的 60% 的方式衰减。波形如图 13.4-21 所示。

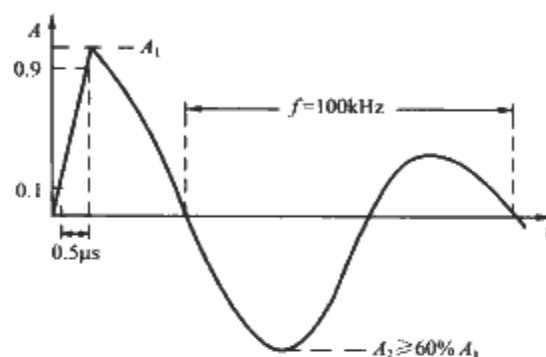


图 13.4-21 振铃波特性（开路电压）

4) 试验发生器/试验设备。图 13.4-22 表示该试验发生器的原理简图。

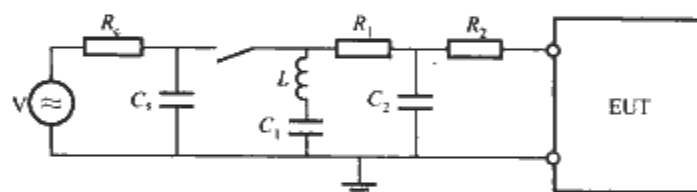


图 13.4-22 振铃波发生器（0.5 $\mu$ s/100kHz）简图

V—高压源； $C_2$ —匹配电容器（即：0.005 $\mu$ F）； $R_c$ —充电电阻； $R_1$ —时间常数匹配电阻（即：2.5 $\Omega$ ）； $C_1$ —储能电容器（即：0.5 $\mu$ F）； $R_2$ —发生器阻抗匹配电阻（即：2.5~25 $\Omega$ ）； $C_1$ -L—振荡电路（即：10 $\mu$ F，5 $\mu$ H）

① 开路输出电压：0.25~4 kV。

② 动态阻抗：12 $\Omega$ 、30 $\Omega$ 及 200 $\Omega$ ，允差 $\pm 20\%$ ，可切换。

③ 极性：正/负。

④ 同电源的关系：0°~360°同步，步距 10°。

⑤ 最高重复频率：(1~60)/min。

⑥ 该试验设备还包括：耦合电路，去耦电路，带宽至少是 20MHz 的示波器或合适的测量设备。

5) 推荐的严酷度等级。

表 13.4-9 振荡（铃）波试验电压等级

试验等级	共模 $A_p$ (kV)	差模 $A_p$ (kV)
1	0.5	0.25
2	1	0.5
3	2	1
4	4	2
X	按照协议	

严酷度等级选择建议：在考虑中。

① 试验次数限制：至少施加 5 次正极性和 5 次负极性的瞬态脉冲。

② 两次试验之间的时间间隔：取决于试验发生器的输出阻抗，12 $\Omega$ 为 10s，30 $\Omega$ 为 6s，200 $\Omega$ 为 1s。

## (5) 阻尼振荡波抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备（尤其是安装在高压/中压变电站中的设备或高可靠性设备）对高压或中压网络中的有关现象（切换现象、故障等）在低压电路中感应的振荡瞬态有可能敏感时所产生的影响。这些瞬态的特征是非常剧烈的阻尼振荡，振荡频率范围在 30kHz~2MHz 之间。

2) 适用范围。主要适用于安装在变电站中的设备。试验电压施加在受试设备的电源端口和控制及信号端口上。

该试验也能考虑用于安装在其他位置（如住宅网络）的设备上，采用的试验信号频率为 100kHz。此时，它类似地振铃波试验，不过后者具有较长的上升时间。它是对浪涌电压试验的补充。

3) 试验波形特性。试验电压由频率在 30kHz~10MHz（优先采用值是 0.1MHz 和 1MHz）之间的阻尼振荡组成，经过 3~6 个周期后其峰值衰减为第一个峰值的 50%，其第一个波的上升时间为 75ns（见图 13.4-23）。以大约 0.1MHz 时  $40s^{-1}$  和 1MHz 时  $400s^{-1}$ （优先采用值）的重复频率来施加这些振荡电压。

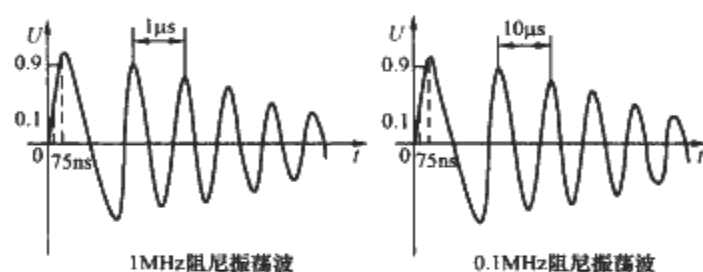


图 13.4-23 阻尼振荡波特性

4) 试验发生器/试验设备。图 13.4-24 表示试验发生器的简图，其主要特性如下：

- ①（振荡）频率：0.1MHz 和 1MHz。
- ② 开路峰值输出电压：0.25~2.5kV。
- ③ 动态阻抗：200（ $1 \pm 20\%$ ） $\Omega$ 。
- ④ 第一个半波的极性：正/负。
- ⑤ 同电源的关系：异步。
- ⑥ 重复频率：0.1MHz 时至少为  $40s^{-1}$ ，1MHz 时至少为  $400s^{-1}$ 。

⑦ 该试验设备还包括：耦合电路，去耦电路，带宽至少为 20MHz 的示波器或其他等效测量装置。

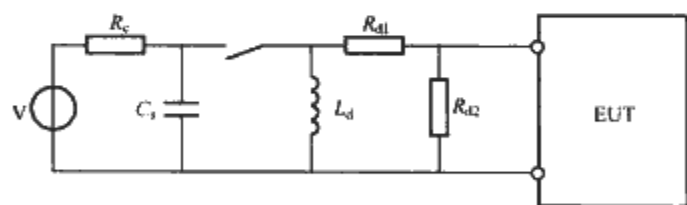


图 13.4-24 1MHz 信号发生器简图

V—高压源； $R_c$ —充电电阻（200k $\Omega$ ）； $C_s$ —储能电容器（0.15 $\mu F$ ）； $R_{d1}$ 、 $R_{d2}$ —阻抗匹配电阻（300 $\Omega$ ）； $L_d$ —阻抗匹配电感（0.75 $\mu H$ ）

## 5) 推荐的严酷度等级。

表 13.4-10 阻尼振荡（铃）波试验电压等级

试验等级	共模 $U_p$ (kV)①	差模 $U_p$ (kV)
1	0.5	0.25
2	1	0.5
3	2.0/2.5②	1
X	按照协议	

①  $U_p$  为开路电压。

② 在 IEC 255—22—1 中是 2.5kV。

在所有的线上都施加同样的试验电压：电源线或控制和信号线。

6) 试验程序说明。每次试验的最短持续时间为 2s。

采用 0.1MHz 和 1MHz 的频率进行试验。在 30kHz~10MHz 之间的其他频率应记录在试验计划中。

## 3.3 高频连续传导抗扰度测试及要求

## (1) 高频感应电压抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对出现在电源线、控制和信号线上的高频电压（如以屏蔽电缆屏蔽层上残余电压的形式）有可能敏感时所产生的影响。这些骚扰可能是由高压、中压或低压网络中的切换操作或故障引起的连续（或准连续）电压。尽管有保护措施，这些骚扰仍然会在二次回路中感应出振荡瞬态。

骚扰以有限幅值的共模电压出现。在采用屏蔽电缆的电路中，屏蔽效能限制了电压幅值。

2) 适用范围。主要用于安装在变电站和有可能安装在工厂中的设备的控制和信号端口。

3) 试验波形特性。试验电压由一系列脉冲群组成，其中每一个脉冲群由 20 个不同频率的正弦波组成。以 0.1 十倍频程/s 或更低的速率在 0.01~1MHz 范围内扫频，脉冲群之间的时间间隔为 20ms。

4) 试验发生器/试验设备。试验发生器（及必要时的有关放大器）的技术规范为：

- ① 开路峰值输出电压：最大 100V。
- ② 发生器阻抗：200 $\Omega$ 。
- ③ 输出电流：大于或等于 0.25A。
- ④ 开/关调制：20 个正弦波组成的脉冲，时间间隔为 20ms。
- ⑤ 0.1~1MHz 扫频（速率）：小于 0.1 十倍频程/s。

该试验设备还包括：耦合电路；去耦电路；合适的测量仪器（示波器或选频电压表）（注：标准暂未提供发生器原理图）。

## 5) 推荐的严酷度等级。

表 13.4-11 高频感应试验电压等级

试验等级	试验电压峰值 (V)
1	10
2	20
3	50
4	100
X	按照协议

试验电压以共模方式加在电源及控制端子上。

6) 试验程序说明。按照试验计划的规定，试验持续时间被限制为检查受试设备工作性能所必须的时间。

## (2) 传导射频骚扰抗扰度试验

1) 试验目的。通过用射频传导骚扰进行的等效间接试验取代射频骚扰场进行的直接试验，来检验受试设备（单个装置或系统，也包括它们的电缆）对辐射骚扰有可能敏感时所产生的影响。

2) 适用范围。电气和电子设备（包括家用电器和类似电器）、通信和信息技术设备等，频率范围为 9kHz~80MHz。

3) 试验电压特性。试验电压的幅值（大小）为未调制射频骚扰信号的开路试验电平值（有效值 r.m.s.）。测量时，

该信号是用 1kHz 正弦波、80% 的调幅度来模拟实际射频骚扰的影响。

有关的专业标准化技术委员会可选择替代的调制方式。

4) 试验发生器/试验设备。

① 试验信号发生器。试验信号发生器 (见图 13.4-25) 包括在所要求点上以规定的信号电平将骚扰信号施加在每个耦合装置输入端口的全部设备和部件。

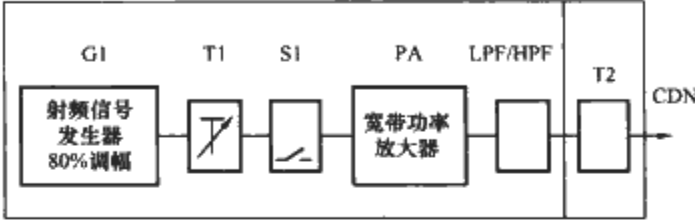


图 13.4-25 试验信号发生器的配置

G1—射频信号发生器；T1—可变衰减器；PA—宽带功率放大器；T2—固定衰减器 (6dB)；LPF/HPF—低通滤波器和/或高通滤波器；S1—射频开关

以下部件的典型组装可以是分立的，也可以组合为一个或多个测量设备。

a. 射频信号发生器 G1：其能覆盖所规定的频段，用 1kHz 正弦波调幅，调制度为 80%。它应有小于或等于  $1.5 \times 10^{-3}$  十倍频/s 自动扫频和手动扫频的能力，或在射频合成的情况下，频率、步长和驻留时间可编程。

b. 衰减器 T1 (典型值 0~40dB)：为控制骚扰测量信号源的输出电平，应有合适频率特性，T1 可包含在射频信号发生器中。

c. 射频开关 S1：当测量受试设备的抗扰度时，应有接通和断开骚扰测量信号的射频开关。

d. 宽带功率放大器 PA：当射频信号发生器的输出功率不足时，需要加功率放大器。

e. 低通滤波器 LPF 和/或高通滤波器 HPF：为避免干扰某些类型受试设备，如 (次) 谐波可能对射频接收机产生干扰，需要时，应将它们插在宽带功率放大器 PA 和衰减器 T2 之间。

f. 衰减器 T2：具有足够额定功率的衰减器 (固定衰减大于或等于 6dB， $Z_0 = 50\Omega$ )。提供衰减是为了减小从功率放大器到网络的失配。T2 应尽可能靠近耦合装置放置。

T2 可包含在一耦合/去耦网络中，若宽带功率放大器的输出阻抗在任何负载条件下可保持在规范内，则可省略它。

未调制时试验信号发生器的特性由表 13.4-12 给出。

表 13.4-12 试验信号发生器的特性

输出阻抗	50Ω，驻波比≤1.2
谐波和失真	比载波电平低 15dB 以上
幅度调制	内调制或外调制，调制度 80%±5%，1kHz±10% 的正弦波
输出电平	足够高，能覆盖试验电平

② 耦合/去耦装置。为使骚扰信号合适地耦合到连接受试设备的各种电缆上，应用耦合/去耦装置 (它能覆盖全部频率，在受试设备端口上具有规定的共模阻抗)。它的主要参数，在受试设备端口看进去的共模阻抗应符合表 13.4-13 的规定。

表 13.4-13 耦合/去耦装置的主要参数

项 目	频 段	
耦合阻抗 $Z_{ce}$ 的参数 (MHz)	0.15~26MHz	26~80MHz
$ Z_{ce}  (\Omega)$	$150\Omega \pm 20\Omega$	$150\Omega^{+60\Omega}_{-45\Omega}$

③ 电流钳与电磁钳。对于平衡的多对电缆，采用钳注入法更合适。对于非屏蔽多芯电缆，采用钳注入法也更合适。

钳注入法分为电流钳注入和电磁钳注入。

5) 推荐的严酷度等级。

表 13.4-14 传导射频骚扰电压试验等级

频率范围 150kHz~80MHz		
试 验 等 级	电 压 (e. m. f)	
	$U_0$ (dBμV)	$U_0$ (V)
1	120	1
2	130	3
3	140	10
X <sup>D</sup>	特定	

注 X 是一个开放等级。

有效值 (r. m. s) 表示未调制骚扰信号的开路试验电平 (e. m. f)。在耦合和去耦装置的受试设备端口上设置试验电平。测量时，用 1kHz 正弦波调幅 (调制度 80%) 来模拟骚扰影响。

6) 试验程序说明。对于来自试验配置的辐射应遵守有关干扰法规。当辐射的能量超过允许的电平时，应在屏蔽室内进行试验。

通常，传导抗扰度试验可不在屏蔽室内进行。这是由于所采用的骚扰电平和试验配置的几何尺寸不可能辐射太高能量，尤其在低频频段。

为了防止 (高次或次) 谐波干扰受试设备，应使用滤波器。在试验信号发生器后面可能要求用 100kHz 高通滤波器 (HPF)。低通滤波器 (LPF) 的阻带特性应能充分抑制谐波，以便不影响测量。在调整测量电平之前，应在试验信号发生器多的后面插入这些滤波器。在每一频率上的驻留时间，应不少于受试设备所需的运行和响应时间。对于敏感频率，如时钟频率及其谐波或主要感兴趣的频率，应分别进行分析。

试验期间，应设法充分操作受试设备，并充分的审查抗扰度试验所选择的全部操作方式。

推荐使用专门的操作程序。

## 4 静电抗扰度测试及要求

### 4.1 静电放电抗扰度试验

1) 试验目的。用于检验受试设备对静电放电 (ESD) 有可能敏感时所产生的影响。产生静电放电的原因通常有以下几种：

- ① 操作人员或物体与该设备接触。
- ② 操作人员或物体在该设备附近接触。

静电电压可高达 15kV。静电放电能直接或通过感应耦合或电磁辐射间接影响设备的工作，甚至损坏电子线路。

2) 适用范围。本试验适用于所有的电气和电子设备。

3) 试验电压波形。静电放电电流的波形取决于负载的类型。图 13.4-26 为加在电阻性负载上的典型电流波形。

4) 试验发生器/试验设备。图 13.4-27 是静电发生器的原理示意图。

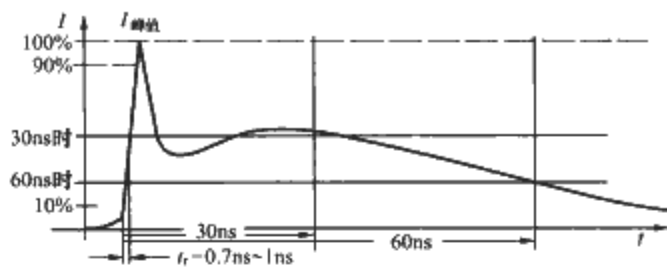


图 13.4-26 静电放电发生器输出电流的典型波形

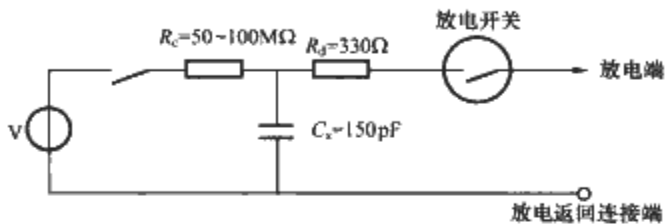


图 13.4-27 静电放电 (ESD) 发生器简图  
V—高压源 (16.5kV);  $R_c$ —充电电阻 (50~100MΩ);  
 $C_s$ —储能电容器 (150pF);  $R_d$ —放电电阻 (330Ω)

5) 推荐的严酷度等级。

表 13.4-15 接触放电试验电压	
试 验 等 级	试验电压 (接触放电) (kV)
1	2
2	4
3	6
4	8
X	特定

表 13.4-16 空气放电试验电压	
试 验 等 级	试验电压 (空气放电) (kV)
1	2
2	4
3	8
4	15
X	特定

接触放电是优先的试验方法。在不能使用接触放电时则采用空气放电的方法。

6) 试验程序说明。

#### 4.2 直接放电

静电放电应施加在受试设备一般可接触到的所有点上。采用以下的方式进行试验:

- 1) 采用单次放电方式。
- 2) 放电电压施加在这些点和地之间。
- 3) 至少施加 10 次单次放电 (最敏感的极性, 正极性或负极性)。
- 4) 相邻两次的放电时间间隔至少 1s。

对于应施加放电的各个点, 可以通过  $20s^{-1}$  放电进行探测来加以选择。

#### 4.3 间接放电

在接地平板或邻近受试设备的  $50cm \times 50cm$  的金属板上 (距离受试设备 10cm) 施加放电。

### 5 电磁兼容防治技术及有关产品

#### 5.1 电子信息系统的电磁兼容设计

1) 电子信息系统设计应考虑建筑物内部的电磁环境、系统的电磁敏感度、系统的电磁骚扰与周边其他系统的电磁敏感度等因素, 以达到较好的电磁兼容性。较敏感的电子信息系统设备 (尤其是主机、数据库服务器等) 应放置在电磁环境较好的建筑物中心部位。

2) 民用建筑物内不得设置可能产生足以危及人员健康的电磁辐射的电子信息系统设备, 当必须设置这类设备时, 应采取有效的隔离或屏蔽措施。例如, 为确保信息安全而设置的专用无线电干扰仪, 应设置在被保护建筑物的外围, 并尽可能地通过较宽阔的绿化带等手段来隔离人群。

3) 电子信息系统所处的建筑物应采取有效的防雷措施。应当注意尽量使电子信息系统与建筑物防雷引下线保持足够距离; 当不能靠空间来隔离时, 则应采取必要的等电位措施。

4) 电子信息系统应按现行国家标准《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2004) 的规定, 采取有效的防雷措施。电子信息系统的防雷 (或防其他过电压) 应从其电源线路、信号线路以及空间辐射等全方位考虑。

#### 5.2 电源干扰的防护

1) 由用户变电站引出的配电系统应采用 TN-S 或 TN-C-S 系统。当采用 TN-C-S 系统时, 自电子信息系统机房进户点起, 中性导体 (N) 与保护导体 (PE) 应分开。这样设计可有效地避免由中性线电流引起的传导干扰。

2) 电子信息系统机房电源的进线处应设置限压型浪涌电压保护装置, 保护装置的残压与电抗电压之和应不大于被保护设备耐压水平的 0.8 倍, 这是为了保证被保护设备的耐压水平能拥有一定的裕度。

3) 谐波较严重的大容量设备宜采用专线供电, 且按低阻抗的要求进行设计。这主要指 X 光机、大功率 UPS 和整流设备等谐波源, 最简单有效的低阻抗设计方法是将自变压器至大功率谐波骚扰源的馈线截面放大。当技术经济条件许可时, 也可采用低阻抗变压器配电, 具体可参照设备样本所供参数进行设计。

#### 5.3 信号线路的过电压保护

1) 户外信号传输电缆的金属外护层和户外光缆的金属增强线应在进户处接地。这是为了防止过电压经由电缆的金属保护层和户外光缆的金属增强线窜入电子信息设备。

2) 户外信号传输电缆的信号线应在进户配线架处设置适配的浪涌电压保护装置。此处指应将信号线本身 (而非护套或机架等) 经浪涌电压保护装置进行接地。

3) 用于信号线的浪涌电压保护装置应根据线路的工作频率、工作电压、线缆类型、接口型式等要素, 选用电压驻波比和插入损耗小的适配的浪涌电压保护装置。应特别注意被保护信号线路的额定工作电压以及浪涌电压保护装置与被保护信号线路的连接方式。

4) 有线电视系统、微波通信系统、卫星通信系统、移动通信室内信号覆盖系统等的室外天线馈线, 应在进户后首个接线装置处设置适配的浪涌电压保护装置。保护装置选型时应注意室外天线较易遭受直击雷。

## 5.4 管线设计

1) 电力线路与电子信息系统传输线路应分开敷设, 当受建筑条件限制而必须平行贴近敷设时, 应采取有效的屏蔽措施。不同电压等级的电力电缆, 如 10kV、6kV、0.4kV 的电力电缆应分别穿导管或在不同的电缆桥架内敷设; 电力电缆不得与电子信息系统的传输线路合用保护导管和线槽; 信号电压明显不同的电子信息系统的传输线路, 如同为模拟信号的音响广播传输线路与有线电视广播传输线路等, 也不得合用保护管和线槽; 不同信号类型的传输线路, 如模拟信号与数字信号, 不宜合用保护导管和线槽, 否则很可能造成信号干扰。

2) 电力线路与电子信息系统传输线路交叉时, 应垂直相交; 广播线路与其他电子信息系统传输线路交叉时, 宜垂直相交。不同传输线路垂直交叉敷设时, 由电磁感应造成的相互干扰最小。由于广播线路的工作电压通常为 100V 或 70V, 明显高于其他电子信息系统传输线路的工作电压, 且其工作电流也相对较大, 容易对其他电子信息系统产生干扰, 故也需作一定程度的限制。

3) 电子信息系统传输线路宜采用屏蔽效果良好的金属导管或金属线槽保护, 但屏蔽线缆不受此限制。当采用金属导管或金属线槽保护电子信息系统传输线路时, 应注意保持金属导管或金属线槽的电气连续性, 做好管槽连接处的跨接。

4) 用于电子信息系统传输线路保护的金属导管和金属线槽应接地, 并作等电位连接。为确保保护金属导管或金属线槽的屏蔽效果, 应将其两端作有效接地, 且相关设施之间应作等电位连接。当采用屏蔽线缆时, 其外包屏蔽层的两端也应作有效接地。

5) 作为移动通信室内中继系统天线的泄漏型电缆不得敷设在建筑物混凝土核心筒内, 且不得与无保护措施的电子信息系统传输线路干线平行贴近敷设。前者是为了避免建筑物核心筒对天线发出的信号造成严重的屏蔽效应, 后者则是为了避免泄露型天线对同路径的电子信息系统传输线路产生感应干扰。

6) 当建筑物内的电磁环境复杂且未采用屏蔽型保护管槽时, 监视电视系统和有线电视系统宜采用具有外屏蔽层的同轴电缆。此时, 同轴电缆的外屏蔽层应在两端进行有效接地, 以确保屏蔽效果。

7) 涉及国家安全的计算机网络等电子信息系统应采用光缆或屏蔽型电缆。银行、证券交易所的省级总部及其结算中心的计算机网络系统宜采用光缆或屏蔽型电缆。根据上海某项目的现场检测结果, 采用非屏蔽型传输电缆 (UTP) 的计算机网络的辐射信号 (包括从网络设备和传输线路所辐射出的信号) 在数百米范围内均可被稳定地测到, 因而存在较严重的泄密隐患。当采用 UTP 穿金属管保护时, 末端线路 (从信号口至计算机、交换机等设备的明线) 有可能成为无线电信号发射天线, 从而成为主要的泄露源。当采用屏蔽型电缆 (STP、FTP) 时, 应注意末端明线两端的接地处理, 避免成为无线电信号发射天线。相比之下, 光缆传输的保密性能更佳。

8) 当建筑物内的电磁环境复杂, 且一旦计算机网络系统发生运行故障将造成较严重后果时, 相关系统宜采用光缆或屏蔽型电缆。这是为了避免重要计算机网络被外界干扰而不能稳定可靠地运行。这种情况下, 传输线路末端明线并无特殊要求。

## 5.5 电磁屏蔽技术

1) 所谓电磁屏蔽, 就是用来减小场向指定区域穿透的措施。其方法是在两个空间区域之间加以金属的隔离, 以控制从一个区域向另一个区域的电场、磁场或电磁场的传播。

屏蔽有两个目的: 第一, 为了防止设备的电子电路或部分电子电路的辐射发射到产品外面。这里的动机是既要避免设备不符合辐射发射的限值, 又要防止该设备对其他电子设备的干扰; 第二, 为了防止设备内部的辐射发射耦合到设备内部的电子电路中, 导致设备内的干扰。

2) 电磁屏蔽的几个特点:

① 电场和平面波的反射损耗很大。

② 低频磁场的反射损耗通常很小, 主要损耗是吸收损耗。

③ 磁场比电场更难以屏蔽。

④ 屏蔽低频磁场要用磁性材料。

⑤ 屏蔽电场、平面波和高频磁场要用良导体 (电导率高)。

⑥ 实际的屏蔽效果决定于缝隙和接头的泄漏, 而不是材料本身的屏蔽效果。

⑦ 孔洞的最大尺寸 (非面积) 或不连续性决定了漏泄的量。

⑧ 大量小孔所产生的泄漏较之同样面积的大孔要小。

⑨ 屏蔽性能好坏的概念。

a. 坏: 0~10dB。

b. 不好: 0~30dB。

c. 一般: 30~60dB。

d. 好: 60~90dB。

e. 最好: 大于 90dB。

3) 电磁屏蔽材料与性能。

几种材料的屏蔽效能见表 13.4-17~表 13.4-21。

表 13.4-17 铜薄膜按平面波计算的屏蔽效能

屏蔽层薄膜厚	1050×10 <sup>-10</sup> m		12 500×10 <sup>-10</sup> m		21 960×10 <sup>-10</sup> m		219 600×10 <sup>-10</sup> m	
频率	1MHz	1GHz	1MHz	1GHz	1MHz	1GHz	1MHz	1GHz
吸收损耗 A(dB)	0.014	0.44	0.16	5.2	0.29	9.2	2.9	92
反射损耗 R(dB)	109	79	109	79	109	79	109	79
多次反射校正项 B(dB)	-47	-17	-26	-0.6	-21	0.6	-3.5	0
屏蔽效能 SE(dB)	62	62	83	84	88	90	108	171

表 13.4-18 1mm 厚各种金属材料在 150kHz 下的电气性能参数

金 属	相对铜的电导率 $g_r$	相对磁导率 $\mu_r$	1mm 厚、150kHz 吸收损耗 (dB)	备 注
银	1.05	1	51.96	
铜(热轧)	1.00	1	50.91	
冷轧铜	0.97	1	49.61	
金	0.70	1	42.52	
铝	0.61	1	39.76	
镁	0.38	1	31.10	
锌	0.29	1	27.56	
黄铜	0.26	1	25.98	



续表

金 属	相对铜的 电导率 $g_r$	相对磁导率 $\mu_r$	1mm 厚、150kHz 吸收损耗 (dB)	备 注
铜	0.23	1	24.41	
镍	0.20	1	22.83	
磷青铜	0.18	1	21.65	
铁	0.17	1000	665.40	
锡	0.15	1	19.69	
钢	0.10	1000	509.10	
	0.10	1	14.14	
铝	0.08	1	14.17	
高导磁率 镍钢	0.06	80 000	3484	假设未饱和
蒙乃尔	0.04	1	10.24	
	0.04	1	10.24	
$\mu$ 合金	0.03	80 000	2 488	假设未饱和
坡莫合金	0.03	80 000	2 488	假设未饱和
不锈钢	0.02	1000	244.4	

表 13.4-19 铁、钢、铝 1mm 厚板吸收损耗

频率	铁 $g_r=0.17$		铜 $g_r=1.00$		铝 $g_r=0.61$	
	$\mu_r$	A(dB)	$\mu_r$	A(dB)	$\mu_r$	A(dB)
60.0	1000	13	1	1	1	0.9
1.0k	1000	54	1	4	1	3.0
10.0k	1000	171	1	13	1	10.0
150.0k	1000	663	1	56	1	40.0
1.0M	700	1430	1	131	1	103.0
3.0M	600	2300	1	228	1	178
10.0M	500	3830	1	416	1	325
15.0M	400	4200	1	509	1	397
100.0M	100	5420	1	1310	1	1030
1.0G	50	12 110	1	4160	1	3250
1.5G	10	6640	1	5090	1	3970
10.0G	1	5420	1	13 140	1	10 300

表 13.4-20 金属网对磁场及平面波的屏蔽效能

电磁 波型	屏蔽层材料网格 技术参数		材料	厚度 (mm)	标称屏蔽效果 (dB)					
					0.1kHz	1kHz	10kHz	85kHz	1MHz	10MHz
磁场	目数 (网)	二层网每层 间距 2.54cm	铜网 (氧化)		2	6	18			
		22 号 16 号 4 号	铜网 青铜网 镀锌钢网					31 18 10	43 17	43 21
平面波	孔板	直径 1.143mm 面积 1451.61cm <sup>2</sup>	铝	0.5	3040MHz			9380MHz		
					60			62		
	目数 (网)	16 号	铝网	直径 0.33mm	34			36		
		22 号	铜网	直径 0.38mm	200kHz	1MHz	5MHz	100MHz		
					118	106	100	80		

表 13.4-21 网对电场的屏蔽效能

屏蔽网型		材 料	厚度或直径 (mm)	额定屏蔽效能 14kHz~1GHz, (dB)	开 孔 面 积
孔板 (mm)	直径 3.2 间距 4.76	钢	厚度 1.5	58	
	直径 6.35 间距 7.94	钢	厚度 1.5	48	46
	直径 11.1 间距 15.87	铝	厚度 0.94	35	45
目 数 (网)		16 号铝	直径 0.51	55	36
		22 号铜	直径 0.51	50 (14kHz~60MHz)	50
		12 号铜	直径 0.51	65 (60MHz~1GHz)	50
		16 号青铜	直径 0.51	50	50
		10 号蒙乃尔	直径 0.46	45 (14kHz~60MHz)	50
		4 号镀锌钢	直径 0.76	40 35	76

5.6 电子信息系统的接地与等电位联结

1) 电子信息系统宜采用共用接地网,其接地电阻值应符合相关各系统中最低电阻值的要求。当无相关资料时,可取值不大于 1Ω。民用建筑中,如果电子信息系统要设置一个或几个专用的接地网络,将很难确保这些“地”与强电系统接地网络之间的独立性(如这些地极之间应保持足够的距离、引线之间应保持足够的绝缘水平等),因此,采用共用

接地是明智之举。

2) 当同一电子信息系统涉及几幢建筑物时,这些建筑物之间的接地网宜作等电位联结,但由于地理原因难以联结时除外。例如当数栋相邻建筑物由一套 BA 系统监控时,BA 系统中的许多现场控制箱将分别接在各自所在建筑物的接地网络中,由于地理、雷击等原因,很可能造成这几栋建筑接地网络之间的电位不等,从而造成差模干扰。为此,相关建筑物的接地网络之间作等电位联结是可取的。但如果建



筑物之间相距过远或被河流阻隔,则应采取其他措施来解决干扰问题。

3) 当几幢建筑物的接地网之间难以互相连通时,应将这些建筑物之间的电子信息系统作有效隔离。彼此间采用无金属增强线的光缆连接,设置信号隔离变压器,采用微波传输网络等方法均可阻断高电位等干扰信号的传递途径。当采用有金属增强线的光缆时,应将金属增强线的两端作有效接地。

4) 保护接地导体、功能接地导体宜分别接向总接地端子或接地极。保护接地导体的功能接地导体的用途不同,为避免功能接地被干扰,应将其经专线与总接地端子或接地极连接。

5) 建筑物每一层内的等电位联结网络宜呈封闭环形,其安装位置应便于接线。做成封闭环是为消除等电位网络中任意两点间的电位差,确保各点之间的电位相等,但在应用中必须注意避免让大电流电力线缆在接地环路中穿心而过,否则电力线缆将在接地环路上感应出电流,造成不必要的干扰。

6) 根据建筑物及电子信息系统的特點,可采用下列接地形式:星形网络;多个网状连接的星形网络;公共网状连接的星形网络。

图 13.4-28~图 13.4-31 为各种不同的等电位联结网络及其适用范围。

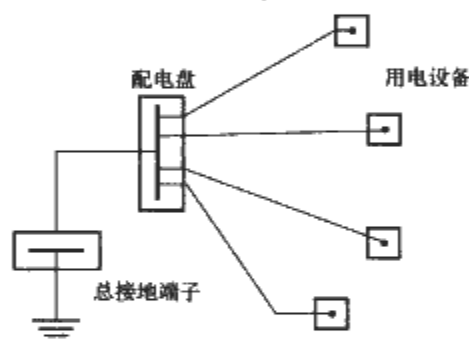


图 13.4-28 星形接地网络  
(适用于小型电子信息系统机房)

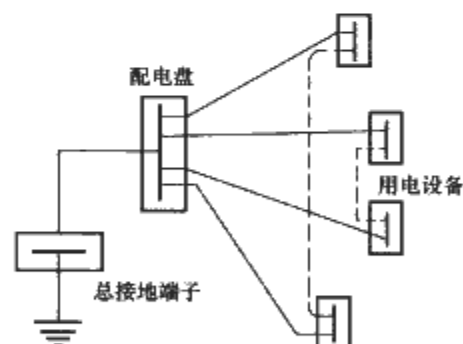


图 13.4-29 星形接地网络  
(适用于中型电子信息系统机房)

7) 功能性等电位联结线可采用金属带、扁平编织带和圆形截面电缆等。高频设备的功能性等电位联结线宜采用铜箔或铜质扁平编织带。为了确保连接导体在高频下仍具有较

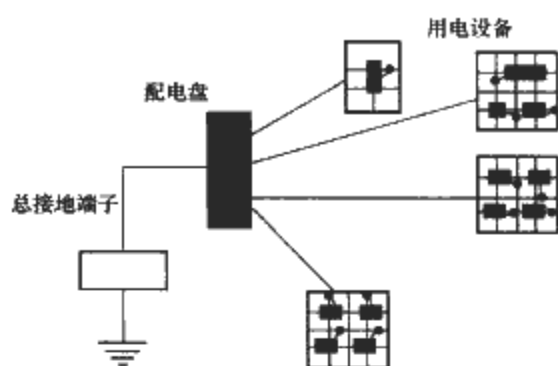


图 13.4-30 多个网状联结的接地网络  
(适用于中小型电子信息系统机房群或设备较分散的大型电子信息系统机房)

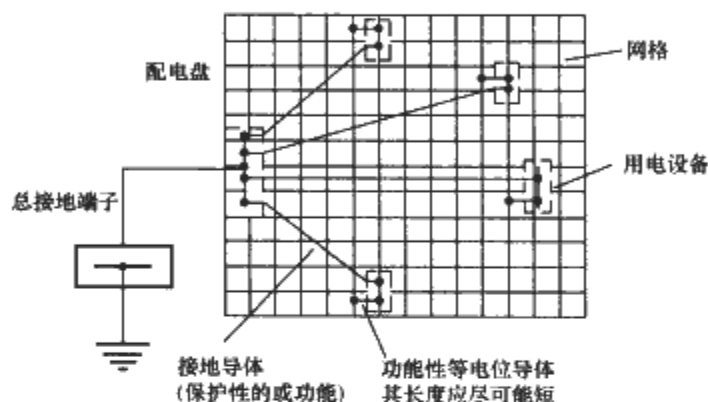


图 13.4-31 公共网状联结的接地网络  
(适用于大型电子信息系统机房, 当主设备的工作频率很高时, 可采用铜箔或铜质扁平编织带构建接地网络)

小的阻抗,而且由于集肤效应,表面积大的接地连接导体形式更适合于高频系统,故铜箔和编织铜线常常用于高频设备的接地网络中。

8) 当电子信息系统接地母线用于功能性目的时,建筑物的总接地端子可用接地母线延伸,使信息技术装置可自建筑物内任一点以最短路径与其相连接;当此接地母线用于具有大量信息技术设备的建筑物内等电位联结网络时,宜作成一封闭环路。用于功能性目的的电子信息系统接地母线可与建筑物总接地端子合一(将总接地端子的某一段用作电子信息系统的功能性接地母线),以确保该接地母线的接地性能。而将该母线做成封闭环路是为了确保接地母线上任意两点间的电位基本相等,但此时须避免让大电流电力线缆在接地环路中穿心而过。

9) UPS 不间断电源装置输出端的中性导体应重复接地。为了避免 UPS 输出端中性点悬浮,这一措施对于三相 UPS 下带多个单相负载时尤为重要,因为在此情形下一旦中性点悬浮,很容易发生中性点漂移,从而对造成某相过压,并引起过压回路中设备的损坏。

10) 通信设备的专用接地引线与临近的防雷引下线之间宜设适配的浪涌电压保护装置。

## 第5章 人类生活环境与电磁场

### 1 架空输配电线路电磁辐射的计算

#### 1.1 110~500kV 高压交流架空线路产生的无线电干扰场强的计算方法

##### (1) 基本公式

由下式可计算 0.5MHz 时高压交流架空送电线的无线电干扰场强

$$E = 3.5g_{\max} + 12r - 30 + 33\lg \frac{20}{D} \quad (13.5-1)$$

式中,  $E$  为无线电干扰场强, dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ );  $r$  为导线半径, cm;  $D$  为被干扰点距导线的距离, m;  $g_{\max}$  为导线表面最大电位梯度, kV/cm。

$$g_{\max} = g \left[ 1 + (n-1) \frac{d}{R} \right] \quad (13.5-2)$$

式中,  $R$  为通过次导线中心的圆周直径, cm;  $n$  为次导线根数;  $d$  为次导线直径, cm;  $g$  为导线的平均表面电位梯度, 其值为

$$g = \frac{Q}{\pi \epsilon_0 d n} \quad (13.5-3)$$

式中,  $Q$  为每极导线的等效总电荷。

##### (2) 高压交流架空送电线无线电干扰场强

根据式 (13.5-1) 计算出高压交流架空送电线三相导线的每相在某一点产生的无线电干扰场强, 如果有一相的无线电干扰场强值至少大于其余的每相值 3dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ), 则高压交流架空送电线无线电干扰场强值即为该场强值, 否则按照下式计算

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2} + 1.5 \quad (13.5-4)$$

式中,  $E$  为高压交流架空送电线无线电干扰场强, dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ );  $E_1$ 、 $E_2$  为三相导线中的最大两个无线电干扰场强, dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )。

##### (3) 80%时间概率下, 具有 80%置信度的无线电干扰场强值

由式 (13.5-1) 计算的是好天气时 50%时间概率下的无线电干扰场强值, 对于 80%时间概率、具有 80%置信度的无线电干扰场强值可由该值增加 6~10dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) 得到。

##### (4) 高压交流架空送电线无线电干扰限值的频率修正公式

高压交流架空送电线无线电干扰限值的频率修正公式可按下列公式计算

$$\Delta E = 5[1 - 2(\lg 10f)^2] \quad (13.5-5)$$

或

$$\Delta E = 20\lg \frac{1.5}{0.5 + f^{1.75}} - 5 \quad (13.5-6)$$

式中,  $\Delta E$  为相对于 0.5MHz 的干扰场强的增量, dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ );  $f$  为频率, MHz。

式 (13.5-5) 的适用频率范围为 0.15~4MHz。

应用举例:

当频率为 0.8MHz 时, 用式 (13.5-5) 计算出  $\Delta E$  为 -3dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ), 对于 500kV 线路, 0.5MHz 时无线电干扰限值  $E$  为 55dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ), 所以 0.8MHz 时的无线电干扰限值为  $E + \Delta E = 52\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ 。

##### (5) 无线电干扰场强的距离修正

高压交流架空送电线无线电干扰距离特性由下式表示

$$E_x = E + k\lg \frac{400 + (H-h)^2}{x^2 + (H-h)^2} \quad (13.5-7)$$

式中,  $E_x$  为距边导线投影  $x$ m 处干扰场强, dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ );  $E$  为距边导线投影 20m 处干扰场强, dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ );  $x$  为距边导线投影距离, m;  $h$  为测量仪天线的架设高度, m;  $k$  为衰减系数。

对于 0.15~0.4MHz 频段,  $k$  取 18; 对于 0.4~30MHz 频率,  $k$  取 16.5。式 (13.5-7) 适用于距导线投影距离小于 100m 处。

根据式 (13.5-7) 可以把距边导线投影部位 20m 处测量的干扰场强修正到 20m 处, 或计算出距离边导线投影不为 20m 处的无线电干扰限值, 以达到无线电干扰场强的距离修正<sup>①</sup>。

### 1.2 超高压送电线下空间的工频电场强度计算方法

根据“国际大电网会议第 36.01 工作组”推荐的方法, 利用等效电荷法计算高压送电线 (单相和三相高压送电线) 下空间工频电场强度。

##### (1) 单位长度导线上等效电荷的计算

高压送电线上的等效电荷是线电荷, 由于高压送电线半径  $r$  远远小于架设高度  $h$ , 所以等效电荷的位置可以认为是在送电导线的几何中心。

设送电线路为无限长并且平行于地面, 地面可视为良导体, 利用镜像法计算送电线上的等效电荷。

为了计算多导线线路中导线上的等效电荷, 可写出下列矩阵方程

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \cdots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \cdots & \lambda_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} & \cdots & \lambda_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} \quad (13.5-8)$$

式中,  $U$  为各导线对地电压的单列矩阵;  $Q$  为各导线上等效电荷的单列矩阵;  $\lambda$  为各导线的电位系数组成的  $n$  阶方阵 ( $n$  为导线数目)。

$U$  矩阵可由送电线的电压和相位确定, 从环境保护考虑以额定电压的 1.05 倍作为计算电压。由三相 550kV (线间电压) 回路 (见图 13.5-1) 各相的相位和分量, 则可计算各导线对地电压为

① 计算方法及例子引自《500kV 超高压送电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T 24-1998)。

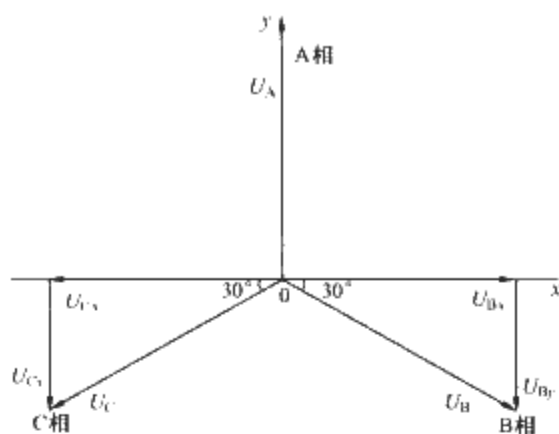


图 13.5-1 对地电压计算图

$$|U_A| = |U_B| = |U_C| = \frac{500 \times 1.05}{\sqrt{3}} \text{ kV} = 303.1 \text{ kV}$$

各导线对地电压分量为

$$U_A = (303.1 + j0) \text{ kV}$$

$$U_B = (-151.6 + j262.5) \text{ kV}$$

$$U_C = (-151.6 - j262.5) \text{ kV}$$

$\lambda$  矩阵由镜像原理求得。地面为电位等于零的平面，地面的感应电荷可由对应地面导线的镜像电荷代替，用  $i, j, \dots$  表示相互平行的实际导线，用  $i', j', \dots$  表示它们的镜像，如图 13.5-2 所示，电位系数可为

$$\lambda_i = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_i}{R_i} \quad (13.5-9)$$

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L'_{ij}}{L_{ij}} \quad (13.5-10)$$

$$\lambda_{ij} = \lambda_{ji} \quad (13.5-11)$$

式中， $\epsilon_0$  为空气介电常数； $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m}$ ； $R_i$  为送电导线半径，对于分裂导线可用等效单根导线半径代入， $R_i$  的计算式为

$$R_i = Rn\sqrt{\frac{nr}{R}} \quad (13.5-12)$$

式中， $R$  为分裂导线半径（见图 13.5-2）； $n$  为次导线根数； $r$  为次导线半径。由  $U$  矩阵和  $\lambda$  矩阵，利用式 (13.5-1) 即可解出  $Q$  矩阵。

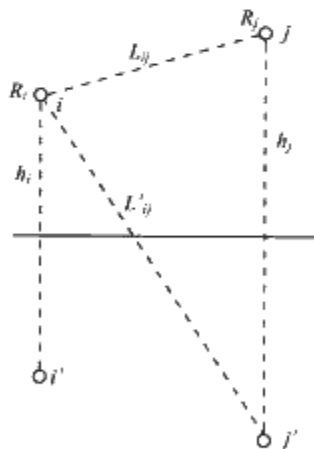


图 13.5-2 电位系数计算图

对于三相交流线路，由于电压为时间向量，计算各相导线的电压时要用复数表示

$$\bar{U}_i = U_{iR} + jU_{iI} \quad (13.5-13)$$

相应地电荷也是复数量

$$\bar{Q}_i = Q_{iR} + jQ_{iI} \quad (13.5-14)$$

式 (13.5-8) 矩阵关系分别表示了复数量的实数和虚数两部分，即

$$[U_R] = [\lambda][Q_R] \quad (13.5-15)$$

$$[U_I] = [\lambda][Q_I] \quad (13.5-16)$$

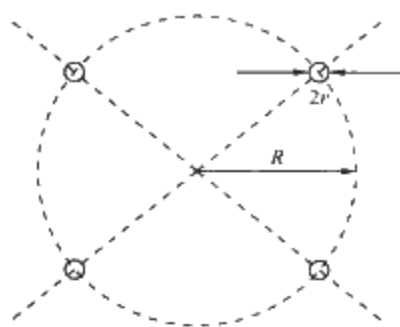


图 13.5-3 等效半径计算图

(2) 计算由等效电荷产生的电场

为计算地面电场强度的最大值，通常取夏天负荷有最大弧垂时导线的最小对地高度。因此，所计算的地面场强仅对档距中央一段（该处场强最大）是符合的。

当各导线单位长度的等效电荷量求出后，空间任意一点的电场强度可根据叠加原理计算得出，在  $(x, y)$  点的电场强度分量  $E_x$  和  $E_y$  可表示为

$$E_x = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^m Q_i \left( \frac{x-x_i}{L_i^2} - \frac{x-x_i}{(L'_i)^2} \right) \quad (13.5-17)$$

$$E_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^m Q_i \left( \frac{y-y_i}{L_i^2} - \frac{y+y_i}{(L'_i)^2} \right) \quad (13.5-18)$$

式中， $x_i, y_i$  为导线  $i$  的坐标 ( $i = 1, 2, \dots, m$ )； $m$  为导线数目； $L_i, L'_i$  为分别为导线  $i$  及其镜像至计算点的距离。

对于三相交流线路，可根据式 (13.5-19) 和式 (13.5-20) 求得的电荷计算空间任一点电场强度的水平和垂直分量为

$$\bar{E}_x = \sum_{i=1}^m E_{xiR} + j \sum_{i=1}^m E_{xiI} = E_{xR} + jE_{xI} \quad (13.5-19)$$

$$\bar{E}_y = \sum_{i=1}^m E_{yiR} + j \sum_{i=1}^m E_{yiI} = E_{yR} + jE_{yI} \quad (13.5-20)$$

式中， $E_{xR}$  为由各导线的实部电荷在该点产生场强的水平分量； $E_{xI}$  为由各导线的虚部电荷在该点产生场强的水平分量； $E_{yR}$  为由各导线的实部电荷在该点产生场强的垂直分量； $E_{yI}$  为由各导线的虚部电荷在该点产生场强的垂直分量。

该点的合成场强则为

$$\bar{E} = (E_{xR} + jE_{xI})\bar{x} + (E_{yR} + jE_{yI})\bar{y} = \bar{E}_x + \bar{E}_y \quad (13.5-21)$$

$$\text{式中} \quad E_x = \sqrt{E_{xR}^2 + E_{xI}^2} \quad (13.5-22)$$

$$E_y = \sqrt{E_{yR}^2 + E_{yI}^2} \quad (13.5-23)$$

在地面处 ( $y = 0$ ) 电场强度的水平分量

$$E_x = 0$$

接地架空线对于地面附近场强的影响很小，对 500kV 单回路水平排列的几种情况计算表明，没有架空地线时的场强较有架空地线时的场强增加约 1%~2%，所以常不计架空地线影响而使计算简化。

例如：如图 13.5-4 所示结构的单回路 500kV 三相架空送电线路，导线成水平状架设，采用  $n = 4$  的分裂导线，求  $P$  点 ( $x = 15\text{m}, y = 1\text{m}$ ) 处工频电场强度值。

1) 单位长度导线上等效电荷计算。

$$\text{分裂导线半径} \quad R = 0.457 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m} = 0.323 \text{ m}$$

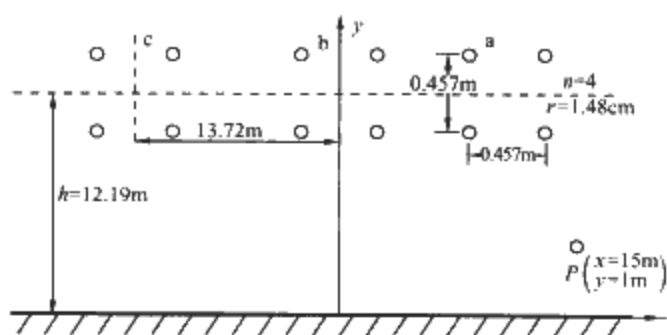


图 13.5-4 计算例图

$$\text{等效导线半径 } R_i = 0.323 \sqrt{\frac{4 \times 0.0148}{0.323}} \text{ m} = 0.211 \text{ m}$$

$$\text{导线对地电压 } U_u = (303.1 + j0) \text{ kV}$$

$$U_v = (-151.6 + j262.5) \text{ kV}$$

$$U_w = (-151.6 - j262.5) \text{ kV}$$

依此可写成实部和虚部两个矩阵

$$U_R = \begin{bmatrix} 303.1 \\ -151.6 \\ -151.6 \end{bmatrix} \quad U_I = \begin{bmatrix} 0 \\ 262.5 \\ -262.5 \end{bmatrix}$$

$$\text{电位系数 } \lambda_{11} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{R_i} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times 4.75$$

$$\lambda_{12} = \lambda_{21} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L_{12}}{L_{12}} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times 0.71$$

$$\lambda_{13} = \lambda_{31} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{L_{13}}{L_{13}} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times 0.29$$

根据导线的对称关系, 可知

$$\lambda_{22} = \lambda_{33} = \lambda_{11}$$

$$\lambda_{23} = \lambda_{32} = \lambda_{12}$$

依此写出电位系数矩阵

$$\lambda = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix}$$

则按式 (13.5-8) 可得

$$U_R = \lambda Q_R$$

$$U_I = \lambda Q_I$$

$$\text{即 } \begin{bmatrix} 303.1 \\ -151.6 \\ -151.6 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1R} \\ Q_{2R} \\ Q_{3R} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 262.5 \\ -262.5 \end{bmatrix} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} 4.75 & 0.71 & 0.29 \\ 0.71 & 4.75 & 0.71 \\ 0.29 & 0.71 & 4.75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1I} \\ Q_{2I} \\ Q_{3I} \end{bmatrix}$$

对上述矩阵方程求解, 可得等效电荷的矩阵值为

$$Q_R = 2\pi\epsilon_0 \begin{bmatrix} 71.359 \\ -38.008 \\ -30.590 \end{bmatrix} \times 10^3 \text{ c/m}$$

$$Q_I = 2\pi\epsilon_0 \begin{bmatrix} -5.886 \\ 65.819 \\ 64.742 \end{bmatrix} \times 10^3 \text{ c/m}$$

2) 计算 P 点处工频电场强度的水平分量和垂直分量。

各导线的坐标如图 13.5-5 所示, 则由 P 点 ( $x = 15\text{m}$ ,  $y = 1\text{m}$ ) 坐标可得

$$r_1^2 = (h-y)^2 + (x-d)^2 = 126.855\text{m}^2$$

$$r_2^2 = (h-y)^2 + x^2 = 350.22\text{m}^2$$

$$r_3^2 = (h-y)^2 + (x+d)^2 = 950.05\text{m}^2$$

$$r_4^2 = (h+y)^2 + (x-d)^2 = 175.61\text{m}^2$$

$$r_5^2 = (h+y)^2 + x^2 = 398.98\text{m}^2$$

$$r_6^2 = (h+y)^2 + (x+d)^2 = 998.81\text{m}^2$$

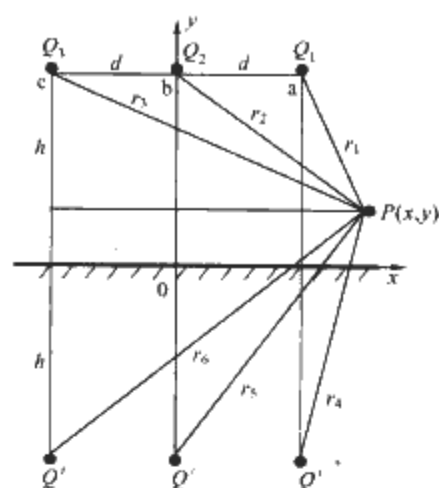


图 13.5-5 各导线坐标图

实部电荷  $Q_R$  在 P 点产生的场强水平分量为

$$E_{xR} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[ \frac{Q_{1R}(x-d)}{r_1^2} - \frac{Q_{1R}(x-d)}{r_4^2} \right] + \left[ \frac{Q_{2R}x}{r_2^2} - \frac{Q_{2R}x}{r_5^2} \right] + \left[ \frac{Q_{3R}(x+d)}{r_3^2} - \frac{Q_{3R}(x+d)}{r_6^2} \right] \right\}$$

$$= -0.044 \times 10^3 \text{ V/m}$$

虚部电荷  $Q_I$  在 P 点产生的场强水平分量为

$$E_{xI} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[ \frac{Q_{1I}(x-d)}{r_1^2} - \frac{Q_{1I}(x-d)}{r_4^2} \right] + \left[ \frac{Q_{2I}x}{r_2^2} - \frac{Q_{2I}x}{r_5^2} \right] + \left[ \frac{Q_{3I}(x+d)}{r_3^2} - \frac{Q_{3I}(x+d)}{r_6^2} \right] \right\}$$

$$= 0.423 \times 10^3 \text{ V/m}$$

所以, P 点的场强水平分量为

$$\overline{E}_x = (-0.044 + j0.423) \text{ kV/m}$$

$$E_x = \sqrt{(0.044)^2 + (0.423)^2} = 0.425 \text{ kV/m}$$

实部电荷  $Q_R$  在 P 点产生的场强垂直分量为

$$E_{yR} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[ \frac{Q_{1R}(y-h)}{r_1^2} - \frac{Q_{1R}(y+h)}{r_4^2} \right] + \left[ \frac{Q_{2R}(y-h)}{r_2^2} - \frac{Q_{2R}(y+h)}{r_5^2} \right] + \left[ \frac{Q_{3R}(y-h)}{r_3^2} - \frac{Q_{3R}(y+h)}{r_6^2} \right] \right\}$$

$$= -8.420 \times 10^3 \text{ V/m}$$

虚部电荷  $Q_I$  在 P 点产生的场强垂直分量为

$$E_{yI} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \left[ \frac{Q_{1I}(y-h)}{r_1^2} - \frac{Q_{1I}(y+h)}{r_4^2} \right] + \left[ \frac{Q_{2I}(y-h)}{r_2^2} - \frac{Q_{2I}(y+h)}{r_5^2} \right] + \left[ \frac{Q_{3I}(y-h)}{r_3^2} - \frac{Q_{3I}(y+h)}{r_6^2} \right] \right\}$$

$$= -4.938 \times 10^3 \text{ V/m}$$

所以, P 点的场强垂直分量为

$$\overline{E}_y = (-8.42 - j4.938) \text{ kV/m}$$

$$E_y = \sqrt{(8.42)^2 + (4.938)^2} = 9.761 \text{ kV/m}$$

### 1.3 超高压送电线下空间的工频磁场强度计算方法

根据“国际大电网会议第 36.01 工作组”的推荐方法计算高压送电线下空间工频磁场强度。

由于工频情况下电磁性能具有准静态特性, 线路的磁场仅由电流产生。应用安培定律, 将计算结果按矢量叠加, 可得出导线周围的磁场强度。

和电场强度计算不同的是关于镜像导线的考虑, 与导线

所处高度相比这些镜像导线位于地下很深的距离  $d$ , 即

$$d = 660 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (\text{m}) \quad (13.5-24)$$

式中,  $\rho$  为大地电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ ;  $f$  为频率,  $\text{Hz}$ 。

在很多情况下, 只考虑处于空间的实际导线, 忽略它的镜像进行计算, 其结果已足够符合实际。

如图 13.5-6 所示, 不考虑导线  $i$  的镜像时, 可计算在 A 点其产生的磁场强度

$$H = \frac{I}{2\pi \sqrt{h^2 + L^2}} \quad (13.5-25)$$

式中,  $I$  为导线  $i$  中的电流值,  $\text{A}$ 。

对于三相线路, 由相位不同形成的磁场强度水平和垂直分量都必须分别考虑电流间的相角, 按相位矢量来合成。一般来说合成矢量对时间的轨迹是一个椭圆。

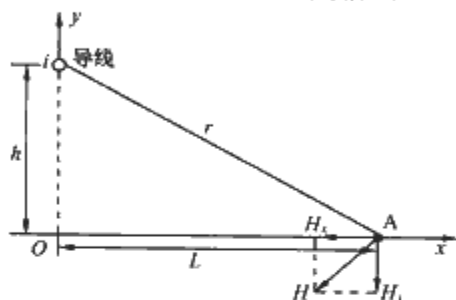


图 13.5-6 磁场向量图

## 2 人类生活环境电磁场强度限值

### 2.1 环境电磁场的分级标准

以电磁波辐射强度及其频段特性对人体可能引起潜在性不良影响的阈下值为界, 将环境电磁波容许辐射强度标准分为两级。

1) 一级标准。安全区, 指在该环境电磁波强度下长期居住、工作、生活的一切人群 (包括婴儿、孕妇和老弱病残者), 均不会受到任何有害影响的区域。新建、改建或扩建电台、电视台和雷达站等发射天线, 在其居民覆盖区内, 必须符合“一级标准”的要求。

2) 二级标准。中间区, 指在该环境电磁波强度下长期居住、工作和生活的一切人群 (包括婴儿、孕妇和老弱病残者) 可能引起潜在性不良反应的区域。在此区内可建造工厂和机关, 但不许建造居民住宅、学校、医院和疗养院等; 已建造的必须采取适当的防护措施。超过二级标准的地区, 对人体可带来有害影响; 在此区内可作绿化或种植农作物, 但禁止建造居民住宅及人群经常活动的一切公共设施, 如机关、工厂、商店和影剧院等; 如在此区内已有这些建筑, 则应采取措施, 或限制辐射时间。

民用建筑物及居住小区与高压、超高压架空输电线路等辐射源之间应保持适当距离, 居住小区边线靠近高压、超高压架空输电线路一侧的工频电场和工频磁场强度应符合表 13.5-1 的规定。

表 13.5-1 工频电磁场强度限值

场强类别	频率 (Hz)	单位	容许场强最大值
电场强度	50	kV/m	4.0
磁场强度	50	mT	0.1

表 13.5-1 中的电场强度引用了国家标准关于工频电场的基本限值和导出值。磁场强度 (磁通密度) 则引用了国际辐射防护委员会 (IRPA) 提出的《暴露于 50/60Hz 电场和

磁场的临时性限值导则》(1990), 它适用于一般民众的昼夜活动场所 (如娱乐场所等)。

### 2.2 民用建筑物环境电磁场强度限值

民用建筑物内的电磁环境参数应符合下列规定:

1) 电磁场强度限值应符合表 13.5-2 规定。

表 13.5-2 电磁场强度限值

频率	单位	容许场强最大值	
		一级	二级
0.1~30MHz	V/m	10	25
30~300MHz	V/m	5	12
300MHz~300GHz	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	10	40
混合波长	V/m	按主要波段的场强来确定。若各波段场强分布较广, 则按复合场强加权值确定。	

注 1. 一级电磁环境: 在该电磁环境下长期居住或工作, 人员的健康不会受到损害。  
2. 二级电磁环境: 在该电磁环境下长期居住或工作, 人员的健康可能受到损害。

2) 幼儿园、学校、居住建筑和公共建筑中的人员密集场所宜按一级电磁环境设计。当不符合规定时, 应采取有效措施 (如迁建等)。

3) 公共建筑中的非人员密集场所, 宜按二级电磁环境设计; 当不符合规定时, 应采取有效措施。但无人值守的各类机房、车库除外。

依据国家标准《环境电磁波卫生标准》(GB 9175—1988), 建筑物内部场强的测试应按该标准规定的方法进行。

幼儿、青少年正处于身体发育期, 更容易因大剂量的电磁辐射导致严重的健康问题; 居住建筑是人们停留时间最长的建筑, 容易造成辐射剂量的累积; 人员密集的公共建筑 (如体育场馆、影剧院、展览馆) 中, 如果存在强烈的电磁辐射将危及较多人员, 故这些场所均应从严格控制, 按一级电磁环境来设计。

## 3 输配电设备电磁污染的预防与治理

1) 架空输电线路的合理规划。输电走廊宽度见表 13.5-3。

表 13.5-3 架空线路与建筑物间的距离

线路电压等级 (kV)	输电走廊宽度 (m)	边导线与建筑物的最小水平距离 (m)
500	60~75	
330	35~45	6
220	30~40	5
66/110	15~25	4
35	12~20	3
10		1.5

2) 变电所选址。变电所是民用建筑内的主要电磁发生源, 为保障居民的电磁环境卫生, 变电所 (尤其是室外箱式变压器) 应远离住宅。上海市规定 10kV 及以下变电所与住宅建筑间距不小于 8m; 35kV 变电所与住宅建筑间距不小于 11m。

3) 在某些场所, 因土建条件的局限, 变电所距离电子设备间或者人员经常活动场所较近, 电磁干扰影响到设备的正常运行, 危害人员的健康。应对变电所采取简易的屏蔽措施, 保障居住变电所影响附近人员的健康或者电子设备正常使用。

[ G e n e r a l   I n f o r m a t i o n ]

书名= 中国电气工程大典    第 1 4 卷    建筑电气工程

作者= 中国电气工程大典编辑委员会    编

页数= 8 1 2

s s 号= 1 2 2 1 7 2 1 4

出版社= 电力出版社

出版日期= 2 0 0 9